This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.
[illegible]

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE

ANNÉE 1897.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1897.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.
—
1897

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 15 JANVIER 1897

PAR M. E. BOUTY

Président sortant de la Société française de Physique.

« MESSIEURS ET CHERS CONFRÈRES,

« De tous les honneurs auxquels un physicien peut prétendre, il n'en est pas de plus enviés que ceux que vous décernez. C'est donc avec un sentiment de reconnaissance profonde que je vous adresse aujourd'hui mes remerciements. En m'appelant à présider vos séances, vous vous êtes sans doute souvenus de l'amitié que voulait bien me témoigner notre vénéré fondateur d'Almeida : permettez-moi de rapporter surtout à sa mémoire l'honneur insigne que vous m'avez fait.

« Pendant l'année qui vient de s'écouler, la Société de Physique a été cruellement éprouvée ; la mort nous a enlevé vingt-trois de nos collègues : parmi lesquels des collaborateurs de la première heure, comme M. de Guillebon, contrôleur de l'exploitation du Chemin de fer d'Orléans ; ou de très anciens membres, comme M. Janin, professeur au lycée d'Albi ; M. Hugueny, professeur honoraire à la Faculté de Strasbourg ; M. Nodot, ancien préparateur à la Faculté des Sciences de Dijon, où il avait été le dévoué collaborateur de Billet. Nous avons perdu MM. Defert ; Didelot, professeur à la Faculté de médecine de Lyon ; Dupays, professeur au lycée Janson ; Bour-

rut Duvivier, professeur à l'École navale de Brest ; le général comte de Laforest ; le marquis de Place; le Dr Pasquier ; MM. Peuchot, Pinel ; Mingasson, professeur au lycée de Toulon ; Verrier ; Caël, directeur-ingénieur des Télégraphes, ancien membre du Conseil de la Société ; Morizot, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux ; Combes, maître de conférences à la Faculté des Sciences de Paris, membre du Conseil de la Société : ces deux derniers enlevés prématurément à l'affection de leurs élèves par une mort subite ; M. Massieu, également membre du Conseil, dont le nom est lié à la découverte des fonctions caractéristiques ; M. Stoletow, le savant professeur de l'Université de Moscou ; M. Reiset, membre de l'Institut ; enfin, le plus illustre, notre maître à tous, M. Fizeau, doyen de la section de physique de l'Académie des Sciences, le premier président et le doyen des membres honoraires de notre Société qui s'enorgueillissait de pouvoir inscrire ce grand nom en tête de la liste de ses membres.

« Au début de l'année, le nombre des membres de la Société de Physique s'élevait au chiffre relativement très considérable de 847 ; vous avez élu 51 nouveaux membres, mais la mort ou les démissions ont réduit le nombre total de 33, de sorte que l'accroissement n'est plus, en définitive que de 18 membres, soit de $\frac{1}{47}$. Vous trouverez peut-être que cette proportion n'est pas encore suffisante : il dépend de chacun de vous de la relever en nous amenant de nouveaux et plus nombreux adhérents. La Société compte, à cet égard, sur tout votre zèle.

« L'état de nos finances est relativement prospère, puisque les recettes équilibrent presque les dépenses. C'est un résultat que nous devons surtout à l'activité de notre trésorier, M. Gay, auquel je suis heureux de transmettre vos remerciements. Il n'a pas dépendu de lui que la balance, un peu précaire, de notre buget n'inclinât en sens inverse. C'est à nous à le seconder de la façon que je vous recommandais plus haut, en activant le plus possible le recrutement de notre Société.

« J'ai eu l'honneur de vous rendre compte, en temps utile, de notre séance de Pâques. Son éclat a été au moins égal à celui des expositions précédentes, grâce, Messieurs, à votre concours unanime et grâce au dévouement de notre Secrétaire général, M. Pellat, si bien secondé par M. Sandoz. Leur zèle infatigable est d'ailleurs soutenu

par l'empressement des physiciens et des inventeurs qu'on ne sollicite guère en vain de venir faire apprécier à des juges tels que vous le résultat de leurs travaux et leurs plus brillantes expériences. Ainsi s'explique l'ampleur ordinaire de nos ordres du jour. Je note, avec un plaisir spécial, les discussions approfondies auxquelles ont donné lieu, cette année, un assez grand nombre de communications, dont l'intérêt s'est ainsi considérablement accru aux yeux de tous.

« La découverte la plus surprenante dont vous ayez eu à vous occuper est incontestablement celle des rayons X, qui a passionné les savants du monde entier. Vous n'avez pas entendu, à cet égard, moins d'une dizaine de communications, notamment de M. Perrin qui, le premier, a répété devant vous les principales expériences de Röntgen et étudié l'action indirecte des rayons X sur des corps électrisés qu'ils ne touchent pas ; de MM. Benoist et Hurmuzescu, aussi sur l'action électrique des rayons X ; de M. Sagnac, sur les illusions de pénombre qui accompagnent l'action fluorescente ou photographique de ces rayons ; de MM. Chappuis, Colardeau et Chabaud, sur la technique ou les applications des tubes de Crookes et des photographies par les rayons X, dont ils vous ont présenté de si remarquables exemples ; de M. Guillaume, sur la coordination et l'interprétation de tant de résultats épars.

« M. Becquerel a découvert de nouveaux rayons jouissant de propriétés analogues à celle des rayons X, mais émis, dans des conditions toutes différentes, par certains corps phosphorescents. Il a ainsi contribué, pour une large part, aux progrès de la science dans ces régions presque inexplorées de la physique.

« Mais quelque intéressante que soit l'étude des rayons X, elle est loin d'avoir absorbé toutes nos forces vives. Consultez nos ordres du jour si pleins et si variés, vous vous convaincrez que, si nous avons payé, comme il convenait, un large tribut à la nouveauté, nous nous sommes bien gardés pour cela de négliger nos vieilles et chères études. Toutes les branches de la physique ont été presque également cultivées : aucune n'a été totalement sacrifiée par nous.

« Je citerai : en acoustique, les expériences de M. Cornu sur les sons anormaux dus aux vibrations torsionnelles des cordes ; — en optique, les travaux de M. Macé de Lépinay, sur la diffraction ; de M. Oumoff, sur les intégrales de Fresnel ; de M. Dongier, sur la double réfraction accidentelle.

« M. Pellat nous a communiqué les résultats de ses délicates expé-

riences sur les forces auxquelles sont soumis les diélectriques dans un champ électrique, et il nous a présenté l'esquisse d'une électrostatique non fondée sur les lois de Coulomb ; M. P. Weiss nous a entretenus des propriétés magnétiques des alliages de fer et d'antimoine et de la dégradation de l'énergie dans l'aimantation. Vous n'avez pas oublié les mesures de M. Hurmuzescu, relatives au rapport (v) des unités électriques ; les études de M. Oumoff, sur les gouttes électrisées ; de MM. Abraham et Broca, sur les conditions de sensibilité des galvanomètres ; de M. G. Weiss, relativement à l'effet des courants sur les tissus organiques.

« Dans le domaine de l'étude expérimentale de la chaleur et de la thermodynamique, M. Villard a réalisé devant vous de très élégantes expériences, les unes relatives aux effets de mirage et aux différences de densité qu'on observe dans les tubes de Natterer, les autres à la dissolution des solides dans les gaz : M. Maneuvrier nous a vivement intéressés par l'historique du rapport $\frac{C}{c}$ des chaleurs spécifiques et par l'exposé de ses propres recherches sur ce sujet capital. M. Amagat nous a fait d'importantes communications sur la variation de ce même rapport $\frac{C}{c}$, ainsi que sur la vérification et la discussion du théorème des états correspondants, et sur ce dernier terrain il a été suivi de près par M. Raveau. MM. Moulin et Oumoff nous ont présenté des considérations théoriques, l'un sur la transformation de l'état des corps, l'autre sur les lignes antithermes.

« M. Macé de Lépinay nous a communiqué ses longs et minutieux travaux en vue de la détermination exacte du kilogramme.

« En ce qui concerne les applications de la mécanique et de la physique, nous avons à enregistrer les communications de M. Caspari sur l'horizon gyroscopique de M. l'amiral Fleuriais : de M. Lamotte, sur le planimètre de Petersen ; de M. Lauriol, sur les travaux de l'aéronaute Lilienthal ; de M. Violle, sur un étalon à l'acétylène ; de M. Broca, sur le brûleur Bandsept ; de M. Guerre, sur les diapasons et timbres électriques.

« Tel est à peu près notre bilan, et il me semble que nous avons quelque droit de nous en montrer fiers. Pas une seule fois l'intérêt de nos réunions n'a faibli ; par l'importance, parfois exceptionnelle, des communications présentées, par la largeur de vos dis-

cussions toujours si courtoises, l'ensemble de ces séances fait vraiment honneur à la science française et aux savants français.

« Au moment de transmettre à un savant plus qualifié que moi la présidence dont votre haute bienveillance m'a investi, il m'est doux de constater combien votre sympathie m'a rendu agréable et facile la tâche que vous m'aviez imposée. Permettez-moi de vous remercier encore une fois d'un honneur dont je sens tout le prix et dont je garderai précieusement le souvenir.

« J'invite en votre nom M. Henri Becquerel, membre de l'Institut, à venir occuper ce fauteuil. »

Illusions qui accompagnent la formation des pénombres. — Application aux rayons X;

PAR G. SAGNAC [1].

Formes des silhouettes. — Des ombres voisines paraissent souvent s'attirer à distance. Les ombres des objets qui se forment dans les pénombres d'objets antérieurs peuvent apparaître déformées quand la source rayonnante S possède un diamètre apparent sensible, que ce soit d'ailleurs une source de lumière ou de rayons X.

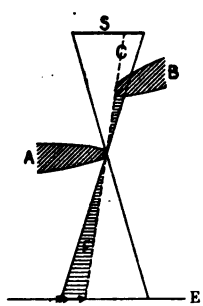


FIG. 1.

Si, par exemple, entre la source S et l'objet opaque A (*fig.* 1), on introduit progressivement un deuxième objet opaque B, le faisceau C des rayons qui éclairent la pénombre du bord de A tourné vers B [2] est supprimé dans la région F. La pénombre de A diminue ainsi

---

(1) Séance du 15 janvier 1897.

(2) Pour le bord opposé de A, la pleine lumière gagne sur la pénombre; le bord de l'ombre devient plus net, mais reste immobile.

de l'étendue F en faveur de l'ombre dont le contour, devenu plus net, s'avance vers l'ombre de B.

Quand l'intensité du rayonnement augmente, les pénombres semblent de moins en moins distinctes de la pleine lumière, soit à la vue, soit sur des photographies ; les déformations des ombres sont alors plus frappantes. Il en est de même pour les photographies quand la durée de pose augmente.

Ces photographies peuvent s'obtenir en disposant des écrans successifs à l'intérieur d'une chambre noire dont l'objectif est remplacé par un diaphragme convenable éclairé par la lumière diffuse.

Les apparences variées des ombres d'écrans successifs projetées par la lumière ou par les rayons X s'expliquent d'après les principes indiqués. Voici quelques exemples pour le cas de deux écrans successifs seulement :

Fig. 2.

L'ombre d'une tige A, en pénétrant dans la pénombre d'un écran B *obliquement* au bord de B, apparaît incurvée et déviée comme par une sorte de réfraction. Si B est un système de fentes ou de tiges parallèles, l'ombre de A peut avoir l'apparence d'une torsade. Avec deux systèmes A et B de fentes ou de tiges, on peut avoir un système de torsades.

La *fig.* 2, reproduction d'une photographie obtenue avec une

source lumineuse circulaire S, montre que les ombres des tiges A_1, A_2, A_4, A_5, placées derrière un anneau B, s'incurvent en pénétrant obliquement dans la pénombre de B, et, à l'intérieur de cette pénombre, ne prolongent pas leur ombre extérieure. La tige centrale A_3 présente seulement un élargissement apparent dans la pénombre de B. Comme la source S, vue d'une certaine région de la tige A_4, paraît divisée par l'anneau B, plus étroit, en deux parties distinctes, la tige A_4 présente deux ombres distinctes dans cette région. M. Mauritius (1) a obtenu de tels dédoublements et déformations avec un tube de Crookes du genre tube à croix, peu ou point diaphragmé, et les a regardés à tort comme liés à de nouvelles propriétés des rayons X.

Si à une étendue rayonnante S est associé un centre d'émission relativement intense, l'ombre nette d'un disque B que donnerait ce centre seul est éclairée intérieurement par S, dans une zone où l'éclairement décroît des bords au centre; cela suffit pour expliquer les apparences d'où M. Villari (2) a essayé de déduire le reploiement des rayons X derrière les obstacles (3). Dans cette pénombre intérieure du disque B, une tige opaque A, normale à la plaque photographique, donne une ombre A′, qui s'éloigne du centre O de l'ombre du disque; cela fournit une explication suffisante des apparences observées dans les ombres de Röntgen par M. Abel Buguet (4).

Remarque sur les expériences de déviation magnétique des rayons de Röntgen électrisés. — Pour établir l'existence des phénomènes annoncés par M. Lafay (5), il faudrait se mettre à l'abri du déplacement possible du foyer anticathodique S sous l'influence du

---

(1) Mauritius, *Wiedmann's Annalen*, t. LIX, p. 346; 1896.

(2) Villari, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXIII, p. 420.

(3) Depuis que cette remarque a été publiée (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXIII, p. 880; 1896), M. Roiti a indiqué que la réflexion des rayons cathodiques par les parois du tube de Crookes peut encore compliquer la nature de la source rayonnante S. La réflexion des rayons lumineux d'une lampe lui a permis d'obtenir l'ombre d'un disque sous des aspects variés comprenant les figures qu'avaient obtenues, avec les rayons X, M. Roiti lui-même, M. Villari, M. Righi et quelques autres expérimentateurs (Roiti, *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, vol. VI, 1er sem., 5e série, fasc. 1; 3 janvier 1897).

Nous remarquerons que l'apparence annulaire de l'ombre d'un disque circulaire, signalée par M. Roiti, peut aussi s'obtenir avec une source annulaire; or, la source de rayons X a fréquemment une forme annulaire dans les tubes du genre tube à croix.

(4) Abel Buguet, *Comptes Rendus*, t. CXXIII, p. 689; 1896.

(5) Lafay, *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 713 et 809; 1896.

champ magnétique de l'électro-aimant, ou de l'électrisation d'une partie de l'appareil. En effet, le déplacement de S a ici nécessairement : 1° une composante perpendiculaire à la fente F ; ou 2° une composante parallèle à la fente F. Or :

1° L'envahissement des pénombres par la pleine lumière, qui apparaît à la vue ou sur des photographies (1), s'exerce dissymétriquement des deux côtés d'un fil *f* placé devant une fente F d'une certaine largeur, dès que la source S qui éclaire la fente F n'est pas placée convenablement devant cette fente. La pénombre du fil paraît diminuée du côté le plus éclairé, et le milieu apparent de l'ombre du fil est déplacé vers le côté dont l'éclairement est le plus faible, comme si les rayons étaient détournés de leur marche régulière. On peut ainsi avoir une déviation apparente des rayons X dès que leur source S est *déplacée perpendiculairement à la fente* F. L'effet augmente naturellement avec la largeur de la pénombre du fil. Il est surtout important quand le fil *f* est éclairé par une fente F plus large et que l'écran ou la plaque photographique est assez loin du fil.

2° Un faible *déplacement de la source* S *parallèlement à la fente* F a de l'importance dès que la fente F n'est pas exactement parallèle au fil. La fente F étant éclairée successivement dans deux régions différentes de sa longueur, l'ombre du fil se déplace latéralement. Cet effet a précisément la même origine que le déplacement de la trace d'un faisceau de rayons défini par deux fentes non exactement parallèles, si bien signalé par MM. Hurion et Izarn (2) dans les fausses apparences de réfraction des rayons X.

On se mettrait sensiblement à l'abri de ces causes d'erreur en employant comme source de rayons X la lame plane d'un tube focus éclairant par sa tranche le fil placé presque exactement dans le prolongement de son plan et exactement parallèle à ce plan, comme dans les expériences qui ont permis à M. Gouy de montrer avec une grande précision l'absence de réfraction des rayons X (3).

Fausses apparences de diffraction des rayons X. — Quand on dis-

---

(1) Ainsi, sur la *fig.* 2, la pénombre des tiges A est presque invisible dans la pleine lumière où les tiges paraissent très rétrécies ; l'élargissement et le déplacement apparent de la tige A_2 dans l'intérieur de l'anneau B indiquent que la pénombre intérieure de B s'étend jusqu'au-delà de A_2, où elle est cependant peu visible

(2) Hurion et Izarn, *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 1195 ; 1896.

(3) Gouy, *Journal de Physique*, 3e série, t. V, p. 345 ; 1896.

pose devant une fente F qui reçoit des rayons X soit une deuxième fente G, soit une tige opaque T, parallèlement à F, les photographies obtenues aux différentes distances montrent des maximums ou des minimums d'impression qui ne sont pas sans analogie avec des franges de diffraction et ont été en effet regardés comme tels :

M. Kümmell [1] en a déduit pour longueur d'onde de ces rayons 3 microns ; MM. Calmette et Thuillier [2] arriveraient à un nombre du même ordre ; M. Fomm [3] trouve 0,014 micron.

Or, si l'on emploie la lumière, avec des largeurs de fentes ou de tiges assez grandes et des distances assez petites pour que la diffraction n'intervienne plus, on obtient des franges apparentes occupant les mêmes positions que sur les photographies obtenues dans les mêmes conditions avec les rayons X. L'impression rétinienne ou photographique présente un maximum à la limite de séparation de la pleine lumière et de la pénombre d'un bord rectiligne. Il y a ainsi deux maximums intérieurs à une fente G, et entre eux, par suite, un minimum. Les deux maximums se confondent quand l'écran ou la plaque photographique se trouve à la limite de la zone de pleine lumière de la deuxième fente éclairée par la première plus large. L'ombre d'une tige T est de même bordée extérieurement de deux maximums. De plus, si la fente éclairante F est plus large que la tige T, au-delà de l'ombre portée par la tige, la rétine et la plaque photographique enregistrent deux minimums situés sur les prolongements des plans qui limitent la zone d'ombre ; c'est un effet complémentaire de l'effet d'une fente.

Ces apparences, ainsi liées à la distribution des pénombres, ne sont pas des franges de diffraction. On sait maintenant que les rayons X ne peuvent avoir que des longueurs d'onde de beaucoup inférieures à la centième partie de la longueur d'onde de la lumière verte [4].

D'une manière générale, on évitera d'attribuer inutilement à des propriétés spéciales d'un rayonnement certaines particularités des ombres qu'il projette : en discutant avec soin la formation des ombres d'après les divers écrans successifs, la forme et l'étendue de la

---

(1) Kümmell, *Abhandlungen der Naturf. gesell. zu Halle*, t. XXI.
(2) L. Calmette et G. Thuillier, *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 877.
(3) L. Fomm, *Wiedemann's Annalen*, t. LIX, p. 350.
(4) Gouy, *loc. cit.*

source rayonnante, l'éclat de ses différents points [1], les modifications qu'un changement de position, d'intensité ou de distribution d'éclat de la source imprime aux ombres observées, par exemple, sur un écran fluorescent ou photographiées ; enfin, en comparant aux ombres projetées par la lumière.

Illusions de la vue qui accompagnent les défauts d'accommodation ;

PAR M. G. SAGNAC [2].

Déformations des images voisines. — Des déformations analogues à celles des ombres voisines se produisent dans la vision pour des images voisines qui ne se forment pas exactement sur la rétine.

Ainsi tout objet A, placé assez près de l'œil pour donner une image A′ en arrière de la rétine, donne sur celle-ci une image diffuse qui, à l'approche d'un écran B, le doigt par exemple, introduit latéralement devant l'œil, se déforme comme par une sorte d'*attraction* en devenant nette dans sa partie déformée. La sorte de gaine semi-transparente qui entoure l'image diffuse de B semble ainsi réfracter l'image de l'objet A.

On voit sur l'*œil réduit* représenté par la *fig.* 1 que la zone de diffusion *a* de l'image du bord A est définie par l'image virtuelle A′ de A et par l'ouverture S de la pupille qui remplace ici l'étendue de la source rayonnante des expériences de pénombre. Le faisceau C qui définit *a* est supprimé par B dans la région F. L'image diffuse *a* du bord de A, devenue plus étroite, paraît plus nette ; son milieu semble s'être rapproché de l'image diffuse *b* de B. L'augmentation de

---

(1) Par exemple : au-delà de la zone d'ombre, la pénombre d'une tige verticale éclairée par une flamme cylindrique est plus claire au milieu que sur les bords. Elle est dédoublée en deux pénombres plus sombres que le fond. Chacune de ces pénombres est projetée par un bord de la flamme dont l'éclat intrinsèque est supérieur à celui du centre de la flamme. De même la pénombre d'un disque éclairé par une source annulaire est plus claire au centre que sur les bords et ressemble à l'ombre d'un anneau (voir plus haut, page 11, note 3).

La pénombre du bord d'un écran, ou l'image fournie par une fente, qu'éclaire un bec Auer, peuvent présenter des images des fils du capuchon, etc.

(2) Séance du 15 janvier 1897.

l'éclairement favorise, comme pour les effets de pénombre, l'illusion d'une *attraction* (¹).

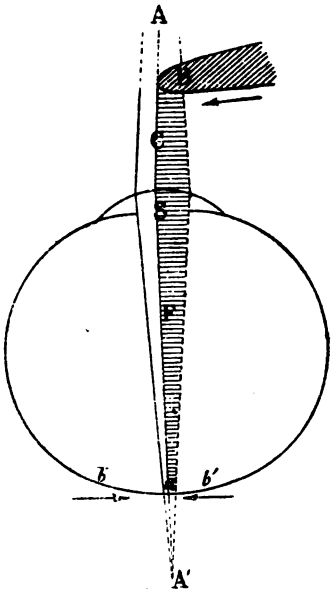


FIG. 1.

Mais ici le phénomène peut être inverse : en refaisant la *fig.* 1 dans le cas où l'image A′ de A se fait en avant de la rétine, on voit que l'image diffuse du bord de A se trouve maintenant limitée du côté même de l'image de B. Il doit donc y avoir *répulsion* apparente de A par B. C'est en effet ce que peut voir un œil myope visant un objet A de trop loin.

D'ailleurs, qu'il soit *hypermétrope* ou *myope*, un même œil armé

(¹) La limitation de l'image de A se fait sur la rétine en *b′*, dans le sens même du mouvement de B devant l'œil, de droite à gauche dans le cas de la *fig.* 1. Elle paraît, par suite, se faire en sens inverse, de gauche à droite. C'est une *illustration très simple du renversement de l'image perçue par rapport à l'image réelle.* En prenant pour objet A une fente éclairée ou un ruban blanc sur fond noir, on voit une ombre *b′* du doigt (*fig.* 1) avancer de gauche à droite quand le doigt est introduit devant l'œil de droite à gauche. C'est cette ombre *b′* du doigt qui limite progressivement l'image de la fente. Il faut rappeler ici la formation analogue des ombres bien plus nettes, que projette sur la rétine une petite ouverture très éclairée assez rapprochée de l'œil (G. MESLIN, *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. VI, p. 341 ; 1887).

d'une loupe voit l'*attraction* se changer en *répulsion*, quand le plan de visée passe d'au-delà en-deçà de l'objet A [1].

Reproduction des phénomènes en dehors de l'œil. — On peut imiter avec une chambre noire photographique les phénomènes que montre l'œil. Par exemple, on dispose, devant la chambre noire un ruban noir A sur un écran blanc bien éclairé [2], et l'on interpose convenablement, entre l'écran blanc et l'objectif, un écran noir B à bord arrondi : suivant que le tirage de la chambre noire est *raccourci* ou *allongé* à partir de la mise au point exacte sur le ruban noir, celui-ci paraît *attiré* par l'écran B, comme pour un œil *hypermétrope* visant de trop près, ou *repoussé*, comme pour un œil *myope* visant de trop loin.

Fig. 2.

Si B est un système de fentes inclinées devant le ruban, on peut voir, avec un tirage trop court, le ruban transformé par le phénomène d'attraction en une sorte de torsade; à travers chaque fente

---

(1) Pour un œil *astigmate*, il n'est pas nécessaire que les objets A et B soient dans des plans différents. Le bord d'un objet peut alors paraître déformé à son croisement avec un autre bord situé dans le même plan.

(2) Avec un ruban blanc sur un écran noir la limitation de *a* se fait de la même manière, mais l'éclairement ne joue plus le même rôle, et l'illusion d'une attraction n'apparaît plus.

le ruban paraît dévié vers la normale aux bords des fentes. Si le tirage est trop long, de manière que les images des fentes aussi bien que du ruban se forment en avant du verre dépoli ou de la plaque photographique, on voit à travers chaque fente le ruban divisé en deux segments déviés vers la direction des fentes. Ces deux segments peuvent se réunir quand le système de fentes est avancé vers l'objectif jusqu'à faire son image en arrière de la plaque. A ce dernier cas se rapporte la photographie reproduite par la *fig.* 2.

Avec deux systèmes de fentes inclinées, on peut avoir un ou deux systèmes de torsades, etc... Ces exemples suffisent à montrer la variété de ce genre d'illusions de la vue que l'on peut imiter, comme on voit, en photographie, ou en projection avec un système optique peu ou point diaphragmé.

Phénomènes observés à travers les instruments composés. — Les mêmes illusions se présentent, dans des conditions un peu plus complexes, quand l'œil vise à travers un instrument d'optique un objet qui n'est pas au point et dont l'image se fait près de celle d'un deuxième objet non au point et placé en avant ou en arrière du premier, par exemple entre l'œil et l'oculaire. Les fils d'un réticule, les cils de l'œil, etc..., peuvent d'ailleurs jouer le rôle de ce deuxième objet. Ainsi, M. G. Meslin [1] a montré que l'ombre des cils se projette sur la rétine quand l'œil vise à travers un système optique qui possède un anneau oculaire. Or, cette ombre des cils se déforme près des images des objets qui ne sont pas exactement au point. Par exemple, si l'on examine au microscope un réseau vivement éclairé qui n'est pas exactement au point, l'ombre des cils se transforme sur le réseau en une série de belles torsades dont le sens de torsion s'intervertit quand on passe d'un côté à l'autre de la mise au point exacte sur le réseau.

Influence des aberrations de l'œil. — Dans la chambre noire, un point A, qui ne forme pas exactement son image sur le verre dépoli, y donne une zone circulaire *a* à peu près uniforme. Mais, dans l'œil, *au voisinage de l'accommodation exacte*, la zone *a* présente quelques petites taches beaucoup plus nettes que le fond et formant comme autant d'images imparfaites du point A. Un objet délié, comme la pointe d'une épingle, regardé au voisinage de l'accommodation exacte sur un fond convenablement clair, peut montrer ainsi dans la plupart

(1) G. Meslin, *Journal de Physique*, 2e série, t. VI, p. 509 ; 1887.

des yeux plusieurs images plus ou moins distinctes [1]. De même, un fil de réticule, ou une raie spectrale qui n'est pas au point.

Deux fils noirs sur un fond bien lumineux ou deux traits noirs sur papier blanc, regardés ainsi, présentent à leur intersection un réseau de parallélogrammes ou de rectangles. De même, les deux fils d'un réticule qui n'est pas exactement au point.

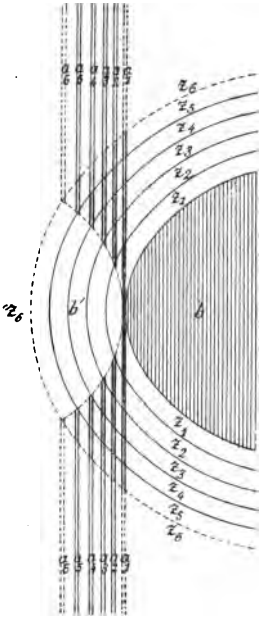


FIG. 3.

Pour une orientation convenable d'un trait ou d'un fil par rapport à l'œil, certaines des images peuvent se superposer, surtout si le trait n'est pas suffisamment délié ou le fil suffisamment fin. Aussi ne voit-on souvent que deux images. De même, des caractères d'imprimerie vus d'un seul œil peuvent paraître dédoublés par défaut d'accommodation, comme s'ils étaient vus à travers un spath légèrement trouble.

---

(1) Une conséquence très frappante de la multiplication apparente d'un bord rectiligne, vu par l'œil sans accommodation, est l'apparence de fines franges que montre une fente étroite regardée de trop près sur un fond lumineux. Dans certaines expériences, on pourrait croire ainsi à des franges de diffraction. On peut aussi bien voir le même phénomène très agrandi en regardant de très près l'ouverture d'une porte entrebâillée sur un fond éclairé.

Dans les déformations apparentes d'un objet A au voisinage d'un écran B, les sortes d'images, au nombre de six, par exemple, que peut donner ainsi le bord de B (*fig.* 3), divisent en cinq zones z_1, z_2,..., z_5 la région diffuse semi-transparente qui borde l'image de B. Dans la région z_6, extérieure à ces cinq zones, un fin fil noir A, vu sans accommodation sur un fond convenablement clair, donne six images a_1, a_2,..., a_6. Le fil perd successivement ses images dans les cinq autres zones en commençant, dans le cas de l'attraction apparente, par l'image a_6 la plus éloignée de l'image b de l'écran B. Dans la première zone semi-transparente z_1, il donne ainsi une seule image a_1 qui est fort nette et noire. Dans les autres zones z, les images a sont, au contraire, semi-transparentes, et d'autant plus qu'elles sont dans une région z plus éloignée de b; il peut même arriver, dans la région de pleine lumière z_6, que les images extérieures a_1 et a_6 soient invisibles pour un éclairement suffisant; c'est ainsi que se produit alors l'apparence de l'*attraction*.

L'*aberration de sphéricité* de l'œil permet d'expliquer que les diverses couronnes dans lesquelles on peut décomposer la tache a de diffusion d'un point A soient inégalement vives; que, par exemple, la tache a soit plus vive aux bords qu'au centre. La *dissymétrie axiale* du système optique de l'œil, d'où résulte l'astigmatisme, suffit à expliquer que certains secteurs de a se dessinent par leur éclairement spécial. La combinaison de ces deux genres d'aberrations explique alors la division de a en quelques taches beaucoup plus vives que le fond et tournant avec la tête de l'observateur.

On peut, d'ailleurs, imiter les apparences précédentes au moyen d'un système optique non diaphragmé présentant les deux genres d'aberrations. C'est ce qu'on obtient déjà avec une lentille non aplanétique de révolution, mais légèrement inclinée sur l'axe optique, et mieux en combinant avec une lentille convergente non aplanétique un certain nombre de verres cylindriques, par exemple trois lentilles cylindriques à génératrices disposées en étoile [1].

L'étude de la tache de diffusion a que donne sur la rétine un point A vu sans accommodation exacte peut ainsi donner des renseignements précieux sur la forme de la surface caustique d'un point A dans le

---

[1] Il convient de rapprocher de tout cela ce fait anatomique que le cristallin de l'œil est formé de fibres hexagonales disposées autour de l'axe de l'œil suivant une dissymétrie assez complexe. C'est sans doute une cause à ajouter aux autres causes de l'asymétrie axiale de l'*ensemble* de l'œil.

système optique de l'œil pour les diverses distances du point A, les diverses ouvertures de la pupille et les divers états de l'accommodation [1].

L'*aberration de réfrangibilité de l'œil* [2] irise les bords de l'image d'un objet A, de rouge quand l'image A′ de A se fait en arrière de la rétine, de bleu quand elle se fait en avant.

Cette irisation se complique quand l'éclairement de l'œil est marginal et subsiste alors pour l'accommodation exacte. Si l'on vise le bord de gauche A d'une source de lumière blanche, une fenêtre par exemple, près du bord de gauche B d'un écran parallèle au bord A et qui cache la partie droite de la source, le bord A de la source est irisé de bleu, et le bord B de l'écran, de rouge. Si l'écran B, placé très près de l'œil, ne laisse découverte qu'une portion assez restreinte de la pupille, il y a *diffraction* par le bord B et le bord de gauche de la pupille. On voit en effet des franges si la source de lumière possède un éclat intrinsèque suffisant, par exemple avec un bec de gaz papillon vu par la tranche. Mais, la dispersion de réfraction de l'œil étant de sens opposé à la dispersion de la diffraction, les franges de diffraction, qui bordent ainsi à gauche la source lumineuse blanche, sont sensiblement noires, comme lorsqu'on prend une source monochromatique. Le système optique de l'œil projette alors sur la rétine des *franges de diffraction sensiblement achromatiques* [3].

---

(1) Mais il faut alors tenir compte, en particulier, des corpuscules opaques que renferment les divers milieux de l'œil, des nombreuses cloisons radiales et circulaires du corps vitreux, des particularités de structure qui produisent les variations de sensibilité d'un point à l'autre de la rétine (tache jaune, tache aveugle, ramifications des vaisseaux sanguins et des veines de la rétine), etc. On voit fort nettement les détails de la tache de diffusion *a* en renvoyant dans l'œil, à l'aide d'un miroir plan métallique très voisin, la lumière d'une lampe déjà réfléchie par la cornée du même œil.

(2) Voir, en particulier, sur le chromatisme de l'œil :

Le Roux, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXVI, p. 173.

(3) L'expérience est plus nette quand on remplace le bord B par une fente. En regardant une fente lumineuse à travers une fente assez étroite, on ne voit les colorations à peu près normales des franges de diffraction que si le pinceau lumineux que laisse passer la seconde fente tombe au milieu de la pupille. Si l'œil est alors déplacé légèrement, à droite par exemple, de manière que la pupille soit seulement éclairée à gauche, la distribution des couleurs diffractées présente, par rapport à l'image centrale, une dissymétrie variable avec la position de l'œil. Avec une fente diffringente de largeur convenable, on peut arriver, par exemple, à voir une cannelure noire à la place de la première série des couleurs diffractées vues à gauche de la fente éclairante.

Dans les mêmes conditions, le premier spectre de gauche d'un réseau, au $\frac{1}{10}$

D'une manière générale, en tenant compte des particularités signalées dans la vision, on se met à l'abri de plusieurs sources d'erreurs dans les expériences d'optique où intervient l'œil de l'observateur ; on évite aussi d'attribuer à des erreurs de jugement ou à des propriétés spéciales de la sensation des apparences physiquement explicables et que l'on peut reproduire en dehors de l'organe de la vue [1].

Loi de transparence des corps pour les rayons X;

Par M. L. Benoist [2].

Le professeur Röntgen a signalé, dès le début, comme une des propriétés les plus remarquables des rayons X, celle d'être absorbés par les différents corps « surtout en raison de leur densité ». On sait que déjà Lénard avait très approximativement vérifié la proportionnalité du pouvoir absorbant d'un grand nombre de solides, liquides, et gaz pour les rayons cathodiques, à leur masse spécifique. La même loi semblait donc à prévoir pour les rayons X. Cependant Röntgen a observé que, si on prenait des feuilles de platine, de plomb, de zinc, d'aluminium, donnant la même transparence pour ces rayons, les produits des épaisseurs par les densités n'étaient pas égaux :

	Épaisseur	Épaisseur relative	Densité	Produit	Valeur relative du produit
Platine.....	$0^{mm},018$	1	21,5	21,5	1
Plomb.....	0 ,050	3	11,3	33,3	1,5
Zinc.....	0 ,100	6	7,1	42,6	2
Aluminium.	3 ,500	200	2,6	520	24

En d'autres termes, une même absorption s'obtenait avec une masse d'aluminium 24 fois plus grande que de platine, et non pas

---

par exemple, placé contre la seconde fente pas trop fine, se ramasse en une image blanche, tandis que l'image centrale se colore.

Tous ces effets se reproduisent, bien entendu, sur un écran, avec une lentille non achromatique éclairée marginalement.

(1) Un défaut de mise au point, favorisé par exemple par un vif éclairement, pourra être utilement décelé par les *déformations* et, si l'œil intervient, par la *multiplication* des images observées.

(2) Séance du 19 février 1897.

avec des masses égales. Toutefois, pour une même substance, l'absorption ne dépendait que de la masse, que le corps fût pulvérisé ou compact.

De plus, les corps les plus denses étaient, à masse égale, les plus absorbants. Les différents physiciens qui s'occupèrent aussitôt de la même question trouvèrent la même allure générale du phénomène, en employant, comme Röntgen, la méthode fluoroscopique ou photographique. Ainsi, d'après Battelli et Garbasso, l'ordre des opacités est bien celui des densités, sauf pour le cristal, le spath-fluor, le quartz qui sont bien plus opaques que l'aluminium, tout en ayant une densité peu différente. Néanmoins, ces exceptions, et d'autres encore, parurent assez graves à certains auteurs pour se demander s'il n'y avait pas une coïncidence peut-être fortuite entre la grande opacité de certains corps et leur grande densité.

D'un autre côté, la complexité des rayons X, que nous avons mise en évidence dès le début par l'étude de la transparence de l'aluminium, doit intervenir pour troubler les résultats qui pourraient dépendre d'une loi simple.

C'est pourquoi je me suis proposé de reprendre par notre méthode électrométrique, plus précise que les méthodes photométriques, et seule capable de donner des valeurs absolues, l'étude générale des transparences, sur laquelle nous avions déjà, M. Hurmuzescu et moi, donné quelques résultats numériques.

J'ai cru devoir m'adresser d'abord à l'état gazeux, comme devant présenter des conditions plus simples; j'ai opéré sur une colonne gazeuse de 74 centimètres de longueur, contenue dans un tube de laiton fermé par deux plaques d'aluminium et pouvant tenir soit le vide, soit des pressions de plusieurs atmosphères. Les gaz étudiés ont été d'abord l'air, l'anhydride sulfureux, le chlorure de méthyle, dont les densités sont notablement différentes, ainsi que les autres constantes physiques. Les deux derniers étaient débités purs par des siphons de gaz liquéfié.

Je portais successivement la pression de 1 à 2 atmosphères, et je mesurais par la diminution de vitesse de décharge, l'absorption due à la masse gazeuse ajoutée. Le tube employé était un tube focus Chabaud à grande puissance.

Voici les valeurs résultant d'un assez grand nombre de mesures.

	Absorption a	Masse spécifique μ	Quotient $\frac{\mu}{a}$
Anhydride sulfureux...	0,263	2gr,861	10,87
Chlorure de méthyle...	0,223	2 ,254	10,11
Air.....	0,111	1 ,293	11,60
		Moyenne :	10,86

La valeur trouvée pour l'air, soit $\frac{1}{9}$, concorde bien avec celle que nous avaient fait prévoir les écarts, croissant avec la distance, que nous avions constatés en vérifiant pour les rayons X la loi du carré des distances. Nous avions, en effet, conclu à une absorption de $\frac{1}{25}$ à $\frac{1}{30}$ pour une distance de 25 centimètres.

Des gaz très différents présentent donc sous une même épaisseur, à une même pression et à une même température, une absorption très sensiblement proportionnelle à leur masse spécifique.

Il convient d'ailleurs de mettre ces résultats sous une autre forme, donnant des nombres plus rigoureusement comparables, en calculant le pouvoir absorbant de l'unité de masse, c'est-à-dire d'une lame représentant une masse égale à 1 *décigramme par centimètre carré* de surface. C'est ce que l'on peut appeler *pouvoir absorbant spécifique*, ou *opacité spécifique*.

On obtient ainsi :

Anhydride sulfureux.....	0,142
Chlorure de méthyle.....	0,148
Air.....	0,123
Moyenne :	0,138

Le pouvoir absorbant spécifique des gaz paraît donc être sensiblement *une constante* 0m,14 pour une pression et une température données, et pour une même espèce de rayons X. Je compte utiliser cette constante pour différencier ces rayons.

En chauffant fortement le cylindre métallique sous pression constante, j'ai pu constater, en outre, que l'absorption diminue rapidement quand la température s'élève. Or la masse diminue en même temps; cela tend donc à faire prévoir que le *pouvoir absorbant spécifique est indépendant de la température*. C'est ce que j'ai vérifié en chauffant aussi fortement que possible le cylindre fermé, par conséquent

avec une masse gazeuse constante. La vitesse de décharge et, par suite, l'absorption sont restées invariables. Cette propriété des gaz est à rapprocher de celle que nous avions, dès le début, vérifiée pour le platine : une lame de platine mince, froide ou portée au rouge par un courant électrique, donnait, dans les deux cas, la même impression photographique.

J'ai cherché ensuite à comparer l'opacité spécifique des gaz à celle des corps solides, soit en utilisant nos anciennes mesures de transparence, soit en en effectuant de nouvelles.

Voici les nombres correspondant à des expériences nombreuses et concordantes :

	Opacité spécifique.	Masse spécifique.
Platine.....	0,81	21,5
Palladium.....	0,83	11,4
Argent.....	0,75	10,5
Cuivre.....	0,60	8,9
Étain.....	0,74	7,3
Mica.....	0,13	3
Verre mince....	0,26	2,7
Aluminium.....	0,09	2,6
Phosphore.....	0,10	1,8

Donc l'opacité spécifique n'est pas une constante pour les corps solides, au moins dans les conditions actuelles, mais elle augmente, en général, avec la densité. Toutefois pour les densités faibles, on trouve des valeurs qui diffèrent peu les unes des autres et de celle des gaz (mica, aluminium, phosphore).

Je me suis demandé alors si ces écarts ne pourraient pas s'expliquer par la complexité même des rayons X employés. Cette complexité doit se traduire par les changements dans la transparence d'un même corps selon les rayons qui le traversent. C'est même la vraie méthode à suivre pour différencier ces rayons, puisque nous ne pouvons recourir à la dispersion par les prismes ou par les réseaux.

Or, en comparant les opacités précédentes à celles qui furent signalées au début par Röntgen, on voit que les mêmes corps sont plus transparents pour les rayons actuellement produits que pour ceux que l'on obtenait alors. Ainsi, le platine ne donnait une transparence égale à celle de l'aluminium que sous une masse 24 fois moindre ; or, d'après mes nombres actuels, il suffirait d'une masse 9 fois moindre ; sa transparence relative a plus que doublé. En comparant les valeurs que j'ai moi-même obtenues à diverses époques, et avec

des tubes différents, je trouve pour beaucoup de corps des changements analogues.

Ainsi l'opacité spécifique de l'argent est passée de $0^{mm},84$ à $0^{mm},75$; celle du cuivre, de $0^{mm},75$ à $0^{mm},60$; celle de l'aluminium, de $0^{mm},10$ à $0^{mm},09$. Ce qui montre en même temps que la diminution d'opacité s'est produite surtout pour les corps les plus denses.

On sait aussi que les radiographies obtenues avec les tubes actuels présentent moins d'opposition entre les os et les chairs que celles du début, c'est-à-dire que la transparence des os a augmenté notablement plus que celles des chairs.

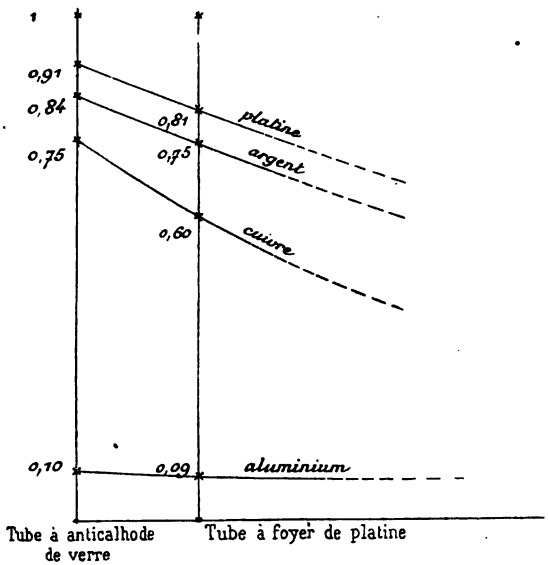


Fig. 1.

Pour mettre ces changements en évidence, j'ai eu recours à l'expérience suivante : j'ai constitué une échelle de transparences par des lames d'argent superposées ayant chacune $0^{mm},055$ et formant des épaisseurs variant de 1 à 8, et à côté j'ai placé une lame de cuivre de $0^{mm},22$. J'ai radiographié ce système, successivement avec notre ancien tube symétrique à anticathode de verre, et avec un tube actuel à foyer de platine, en réglant l'intensité aussi également que possible. Or, sur le premier cliché, l'opacité du cuivre est égalée par celle de 3 lames d'argent superposées, et sur le deuxième cliché, par celle de

deux lames seulement. Donc le rapport des opacités change bien avec une certaine qualité des rayons X que l'on pourrait appeler leur couleur, leur tonalité ou, si l'on veut, leur *radiochroïsme*.

Je crois donc possible d'interpréter ces résultats dans un sens favorable à l'existence d'une opacité spécifique égale pour toutes les substances. Il suffirait d'admettre que cette identité constitue une *loi limite*, vérifiable seulement pour des *rayons X limite*. Essayons de construire des courbes représentant les *opacités spécifiques* des différents corps en fonction de la *tonalité* moyenne des rayons X employés, les opacités spécifiques étant portées en ordonnées, et les tonalités moyennes figurées (arbitrairement quant à leur valeur numérique seulement) par des abscisses croissantes avec la puissance des tubes (sauf à trouver dans ces études mêmes un moyen plus précis de caractériser cette qualité) ; nous obtenons des courbes qui paraissent bien converger vers les plus basses d'entre elles, celles de l'aluminium par exemple (*fig.* 1).

L'étude des opacités, poursuivie à ce point de vue, me permettra, si ces prévisions se vérifient, d'isoler ces rayons X limite et d'établir en même temps une classification naturelle dans le nouveau groupe de radiations découvert par Röntgen.

Mesures cryoscopiques ;

PAR M. A. PONSOT [1].

J'ai déjà publié les résultats d'expériences sur la détermination du point de congélation des solutions étendues de sucre de canne [2].

Je me suis proposé de recommencer ces expériences en employant un autre appareil : l'appareil classique de M. Raoult auquel j'ai fait subir quelques modifications.

Je l'ai protégé, latéralement, le mieux possible contre tout réchauffement. A la partie supérieure, j'ai disposé, sur le couvercle, deux vases métalliques, l'un fixe et l'autre mobile, dans lesquels j'ai mis un mélange réfrigérant dont la température doit être voisine de celle

---

(1) Séance du 19 février 1897.
(2) Thèse, p. 52 ; 1896.

de congélation de la solution en expérience. J'ai remplacé l'éprouvette cryoscopique en verre épais, *une éprouvette à gaz*, par une autre en verre le plus mince possible, à fond plat ; elle repose sur du liège. Je l'ai séparée de l'éprouvette au contact du liquide réfrigérant, par une lame de laiton très mince et bien brillante, et par du drap, en ayant soin de laisser un intervalle entre le laiton et l'éprouvette cryoscopique. Le bouchon de caoutchouc a été remplacé par un bouchon formé de rondelles de drap placées entre deux plaques de laiton : ce bouchon fermant l'éprouvette cryoscopique se trouve placé sous le vase métallique mobile rempli de mélange réfrigérant, et l'ensemble est traversé par le thermomètre.

L'agitateur est composé de fils et de lames de platine fixés à la tige du thermomètre : une grande lame percée de trous entoure le réservoir du thermomètre ; d'autres lames sont enroulées en hélice ; les fils de platine forment un treillis très lâche s'étendant dans toute la solution.

Pour produire l'agitation, j'avais d'abord employé une rotation continue de la tige du thermomètre, mais j'ai remarqué qu'en changeant alternativement le sens de la rotation les paillettes de glace étaient mieux disséminées dans toute la solution, avec un mouvement beaucoup moins rapide du thermomètre.

La lecture du thermomètre se fait avec la lunette d'un cathétomètre, le thermomètre étant en repos.

J'ai renoncé à employer, pour cette lecture, le vernier du cathétomètre pour la raison suivante :

Comme on le verra dans la suite, il est nécessaire que toutes les opérations concernant une détermination du point de congélation soient effectuées dans le moins de temps possible ; on n'est donc pas certain d'avoir disposé le thermomètre verticalement ; alors il faudrait faire six visées et six lectures du vernier, ce qui demanderait un temps trop long. Avec un micromètre dans l'oculaire, ce serait moins long ; mais, n'en ayant pas, j'ai essayé d'apprécier directement la position du ménisque entre deux traits du thermomètre, et de faire rapidement deux lectures : dans l'une, les divisions du thermomètre sont en avant de la colonne de mercure ; dans l'autre, elles sont en arrière.

La distance de deux traits est de 1/2 millimètre, la lunette grossit 50 fois environ. Les corrections de calibrage et de pression intérieure étant données sur un graphique en dixièmes et en centièmes de divi-

sion, dans mon appréciation, j'estime les dixièmes et les centièmes de division. Chaque division vaut 1/200e de degré, la lecture est donc donnée en 1/20000e de degré : on verra plus loin quelle en est à peu près la précision.

La grande sensibilité du thermomètre m'a permis de faire des remarques très utiles :

Je porte le réfrigérant à une température voisine de zéro (entre zéro et — 0°,05), et je maintiens cette température à peu près constante (la température du réfrigérant est donnée par un thermomètre dont chaque division vaut 1/60e de degré environ). Je mets de la glace dans les vases surmontant le réfrigérant.

Dans une éprouvette cryoscopique, je mets de l'eau distillée, je l'amène en surfusion dans un réfrigérant, autre que celui de l'appareil cryoscopique, je fais cesser la surfusion, et, continuant de refroidir, j'ai, outre les paillettes de glace, une gaine de glace adhérente aux parois de l'éprouvette. Je transporte cette éprouvette (après l'avoir essuyée) avec le thermomètre dans l'appareil cryoscopique, je produis l'agitation, et je fais la lecture de la température à des intervalles de deux minutes : la température baisse jusqu'à une valeur fixe, invariable.

Recommençant avec de l'eau de même provenance, même observation, même lecture finale.

Une agitation rapide tend à élever la température; mais avec l'agitation que j'emploie, 1 rotation alternée par seconde, l'influence de l'agitation est si faible que je n'ai pas constaté de changement certain de la température par le repos.

J'estime que la lecture du thermomètre correspond au zéro vrai, dans les conditions de pression où se trouvent la glace et le thermomètre; je l'ai d'ailleurs vérifié. On peut, à ce sujet, remarquer que, quand la congélation de l'eau a été produite après une grande surfusion, toutes les parties de l'agitateur sont recouvertes de glace.

Le bain réfrigérant de l'appareil cryoscopique étant à une température bien plus basse que zéro, mais constante, il s'établit dans l'éprouvette cryoscopique une température stationnaire pendant assez longtemps; mais elle ne reste telle que si l'agitation ne varie pas : elle est plus basse que le vrai zéro, mais s'en rapproche de plus en plus si on augmente l'agitation. Avec l'agitation employée ordinairement, l'affaissement du zéro, par suite du rayonnement, est d'environ 1 millième de degré par degré de rayonnement.

En employant la méthode usuelle pour la détermination du zéro, j'ai fait les remarques suivantes :

Ayant produit la surfusion de l'eau dans l'éprouvette, je la place dans l'appareil cryoscopique ; six minutes plus tard, je lis le degré de surfusion ; je fais cesser cette surfusion par une parcelle de glace et j'observe, de minute en minute, la marche du thermomètre.

Après un maximum atteint en moins de deux minutes, la température baisse, passe par un minimum, puis remonte et dépasse même le premier maximum, puis enfin reste stationnaire ; il faut attendre plus de vingt minutes pour observer ces variations.

Je recommence cette expérience, en réduisant à cinq, quatre, trois, deux, une minute le temps écoulé entre l'introduction de l'éprouvette dans l'appareil et l'addition d'une parcelle de glace ; j'observe les variations de la température comme précédemment, mais de moins grande amplitude et dans un temps moindre : il s'établit toujours la même température finale, tandis que le premier maximum était variable et de plus en plus élevé.

Si on fait cesser la surfusion en même temps qu'on transporte l'éprouvette cryoscopique dans l'appareil, on observe que la température atteint une valeur maximum qui se maintient : j'ai observé quelquefois un abaissement à la suite de ce maximum, mais la température est revenue très vite à celle du maximum. Ce maximum est la température observée avec une gaine de glace : c'est le vrai zéro.

En opérant de cette manière plusieurs fois de suite, on obtient des lectures identiques (corrigées de la pression extérieure) : toutefois, il est arrivé que la première lecture a été différente des autres ; cela est dû à ce que les parties entourant l'éprouvette cryoscopique n'étaient pas dans l'équilibre thermique qui s'établit après la première détermination.

Quand l'éprouvette cryoscopique est placée quelques minutes dans l'appareil avant de faire cesser la surfusion, les lectures après la congélation donnent d'abord un zéro trop bas, parce que les parties entourant l'éprouvette ont été refroidies par elle avant la cessation de la surfusion et qu'ensuite elles refroidissent, c'est-à-dire agissent comme un réfrigérant.

J'ai utilisé ces remarques pour décider la marche à suivre pour déterminer le point de congélation d'une solution. Voici comment j'opère :

Je fais 320 centimètres cubes d'une solution : je les divise égale-

ment entre deux éprouvettes cryoscopiques. Je produis la congélation dans l'une, et je la place dans l'appareil, avec le thermomètre. Je règle la température du réfrigérant pour que celle de la solution congelée reste invariable, et j'attends ensuite vingt minutes pour que l'appareil entier soit à peu près dans un régime constant au point de vue des échanges de chaleur.

Alors j'enlève l'éprouvette de l'appareil, je fais fondre rapidement la glace, j'ôte le thermomètre que je place dans l'éprouvette, contenant la deuxième moitié de la solution originelle déjà amenée en surfusion. Au degré de surfusion voulu, j'enlève cette éprouvette du réfrigérant; je l'essuie, je lis le degré de surfusion, j'ajoute une parcelle de glace, et, en agitant, je transporte l'éprouvette dans l'appareil ; je fixe le thermomètre, je produis l'agitation : toutes ces opérations étant effectuées dans le moins de temps possible.

De cette manière, quand la solution est apportée dans l'appareil, sa température n'est plus qu'à quelques centièmes de degré au-dessous de celle du milieu environnant : elle ne tarde pas à monter et à l'atteindre, de telle sorte que ce milieu n'exerce qu'une action thermique très faible et que la surfusion cesse complètement, dans des conditions telles que l'éprouvette cryoscopique est presque isolée au point de vue calorifique.

Je fais des lectures de la température, et je note simultanément le temps à l'aide d'un chronomètre.

Quand une expérience a été bien conduite, la température maximum observée reste invariable : il y a quelquefois, comme dans la détermination du zéro, une petite chute de température après le maximum et la température reste ensuite invariable.

Quand la température du réfrigérant est trop élevée, la température monte progressivement et lentement à partir de la température correspondant au maximum précédent.

Dans le cas contraire, elle baisse peu à peu ; il y a un véritable maximum, mais il n'y a pas de température stationnaire, pas d'équilibre de température, pas de point de congélation. Toutefois, en employant un thermomètre peu sensible, la température pourrait paraître stationnaire pendant quelques minutes, après que le maximum a été atteint : c'est cette température qu'on prend généralement pour point de congélation.

Dans les expériences, dont les résultats vont être donnés, j'ai eu pour collaborateur M. Tangl, dont le concours m'a été très précieux.

En particulier, pour la lecture de la température, après que j'eusse mis au point, aussi parfaitement que possible, le sommet de la colonne de mercure dans le thermomètre, et fait les deux lectures nécessaires, M. Tangl a fait également deux lectures sans changer la mise au point. Nous avons noté le temps correspondant à chaque observation. Lorsque nous avons été d'accord que la température avait été constante pendant au moins dix minutes (à 0,02 de division près) l'expérience a cessé. Chacun de nous a écrit la lecture la plus probable correspondant au point de congélation, avant toute communication des résultats.

Voici ces lectures, les unités représentent les dixièmes de division.

La plus grande différence de lecture est 0,5. M. Tangl, n'ayant pas la même vue que moi, je crois qu'on peut admettre que l'erreur maximum personnelle de chacun de nous, ou tout au moins l'erreur maximum de la moyenne de nos lectures, est inférieure à 0,5. En admettant 0,4, on peut dire que la lecture est faite avec une erreur plus petite que $\frac{1}{25}$ de division ou que 0°,0002.

27 *janvier.*

	Ponsot.	Tangl.	Diff.
Détermination du zéro après surfusion.	4137,4	4137,2	— 0,2
Gaine de glace	4137,8	4137,9	+ 0,1
Après surfusion	4137,8	4137,7	— 0,1
Zéro adopté	4137,8		
Solution n° 1	4134,4	4134	— 0,4
— 2	4130,3	4130,6	+ 0,3
— 3	4127,8	4127,7	— 0,1
— 4	4125,1	4124,9	— 0,2
— 5	4121,7	4122	+ 0,3

28 *janvier.*

Détermination du zéro après surfusion.	4138,9	4138,5	— 0,4
—	4138,4	4137,9	— 0,5
Gaine de glace	4138,6	4138,5	— 0,1
Zéro adopté	4138,5	4138,4	
Solution n° 1	4104,5	4104,3	— 0,2
— 2	4069,6	4069,5	— 0,1
— 3	4034,9	4035	+ 0,1

Je joins à ces résultats ceux de deux autres séries d'expériences que j'ai faites seul.

29 *janvier.*

Deux déterminations du zéro.....	4138,6
Solution n° 1 à différents degrés de surfusion.....	3808 3806,7 3805
Solution n° 2 à différents degrés de surfusion.....	3025 3015 3012,5

Correction de la concentration par suite de la formation de glace. — La méthode la plus rigoureuse à employer, pour connaître la concentration de la partie d'une solution restée liquide après la congélation, est de décanter cette partie liquide et d'en chercher la concentration par une analyse quantitative.

J'ai fait, avec M. Tangl, une série d'observations sur une solution de sucre à des degrés différents de surfusion; j'ai noté cette surfusion. M. Jobin a bien voulu, avec un de ses saccharimètres, me déterminer la concentration de chaque solution décantée, ce qui m'a permis de trouver le poids de l'eau congelée en fonction de la surfusion. J'en ai déduit que la masse en eau des parties, dont la température est élevée en même temps que celle de la solution, par suite de la formation de glace, est d'environ 40 grammes. En employant 160 grammes de solution, δ étant le degré de surfusion, la quantité d'eau congelée dans une solution très étendue est avec une grande approximation :

$$\frac{200\delta}{80 + \frac{\delta}{4}}.$$

Cette relation convient pour les solutions étendues de sel marin. Une même solution de sel marin m'a donné les résultats suivants :

	Abaissement observé	Surfusion	Abaissement corrigé
Exp. n° 1	475,6	0°,93	468,7
2	482	1°,68	469,4
3	471,3	0°,39	468,3
4	470	0°,23	468,3

L'abaissement corrigé se rapporte à la solution originelle. Il y a entre les nombres qui le donnent une différence de 1 ou 0°,0005, mais je crois qu'elle est due plutôt à une erreur accidentelle qu'à une correction défectueuse.

Le tableau suivant donne, dans la première colonne, les abaissements observés : c'est la moyenne des résultats de M. Tangl et des miens, les corrections de calibrage de pression intérieure et extérieure étant faites.

La deuxième colonne donne la concentration corrigée, c'est-à-dire celle de la partie restée liquide de la solution, poids du sucre dans 100 centimètres cubes.

La troisième colonne donne l'abaissement produit par une molécule dissoute dans 100 grammes d'eau.

La quatrième colonne donne l'erreur accidentelle probable de chaque observation.

	Première série.		
0°,0019	0gr,0323	20,33	+ 0,0001
0 ,0039	0 ,0645	20,67	+ 0,0002
0 ,0053	0 ,0973	18,74	+ 0,0001
0 ,0067	0 ,1261	18,26	— 0,0004
0 ,0084	0 ,1527	18,79	— 0,0001
	Deuxième série.		
0°,0174	0gr,3234	18,40	— 0,0001
0 ,0352	0 ,6465	18,56	+ 0,0001
0 ,0529	0 ,9730	18,48	0
	Troisième série.		
0°,1693	3gr,0364	18,73	+ 0,0001
0 ,1698	3 ,0502	18,70	— 0,0002
0 ,1700	3 ,0465	18,74	+ 0,0001
	Quatrième série.		
0°,5716	9gr,7289	18,94	— 0,0009
0 ,5767	9 ,7770	19,02	+ 0,0015
0 ,5779	9 ,8262	18,96	— 0,0003

Pour calculer les erreurs accidentelles, j'utilise la remarque tirée des résultats de mes anciennes expériences que, pour les solutions très étendues (les deux premières séries), l'abaissement moléculaire ne varie pas avec la concentration. Je calcule l'abaissement moléculaire moyen de chaque série, en employant la méthode des moindres carrés, pour les deux premières séries, et en prenant la moyenne arithmétique pour les deux dernières. Je trouve 19,04 — 18,50 — 18,725 — 18,97. J'admets ensuite que la correction de surfusion est rigoureuse. L'erreur accidentelle est l'excès de l'abaissement observé

sur l'abaissement qui donnerait comme abaissement moléculaire celui de la série.

Excepté pour la dernière série, ces erreurs sont, en général, plus petites que l'erreur maximum de lecture; la grande précision recherchée dans les lectures n'est donc pas inutile. De plus, ces erreurs accidentelles comprenant à la fois les erreurs de lecture et de manipulation, on conclut que ces dernières sont négligeables.

L'ensemble des résultats de chaque série peut comporter une erreur systématique dont il est difficile de fixer la grandeur. On peut d'abord comparer ces résultats à d'autres obtenus dans des conditions expérimentales différentes afin de voir le rapport entre le changement de conditions expérimentales et le changement de résultats.

D'après l'ensemble des résultats obtenus en 1895, j'avais conclu que l'abaissement moléculaire (1 molécule dans 100 grammes d'eau) avait une valeur limite de 18,77 et qu'il croissait lentement avec la concentration. Le tableau ci-dessous montre la comparaison de ces résultats avec ceux que je viens de communiquer.

Dans la première colonne se trouvent les abaissements moléculaires de l'année 1895; dans la deuxième, les abaissements moléculaires actuels correspondant aux mêmes concentrations; dans la troisième, la valeur relative de la différence; dans la quatrième, la différence sur l'abaissement maximum observé dans la série en supposant les corrections de surfusion rigoureuses.

18,77	19,04	$+\frac{1}{69}$	$+ 0^{\circ},0001$
18,78	18,50	$-\frac{1}{67}$	$- 0,0008$
18,79	18,725	$-\frac{1}{288}$	$- 0,0006$
18,87	18,97	$+\frac{1}{180}$	$+ 0,003.$

Les trois premières séries donnent des résultats assez concordants; il n'en est pas de même de la quatrième, on a déjà remarqué que les erreurs accidentelles de cette série étaient déjà importantes.

Je crois utile de faire remarquer que mes récentes expériences n'ont pas été faites avec le même appareil que les anciennes; que l'agitateur était très différent, ainsi que le mode d'agitation; j'ai employé du sucre candi d'une provenance différente, 160 centimètres cubes de solution, au lieu de 120 centimètres cubes, ce qui a néces-

sité une autre correction de surfusion; enfin, j'ai opéré dans l'air à 1° ou + 2°, tandis que mes anciennes expériences avaient été faites dans l'air à 16° environ.

Mes résultats sont assez concordants avec les résultats les plus récents donnés par Abegg [1]. Quatre séries d'expériences ont fourni pour abaissement moléculaire limite : 18,9 — 18,2 — 18,9 — 18,45; moyenne : 18,61 qui concorde exactement avec le nombre qu'on obtiendrait avec nos deux premières séries réunies. par la méthode des moindres carrés. Cela ne prouve pas que ce soit le nombre le plus probable pour l'abaissement moléculaire limite : j'estime que, pour trouver cet abaissement, il faut avoir des séries d'abaissements allant jusqu'à plusieurs degrés au-dessous de zéro, chercher la courbe, ou l'équation rendant le mieux compte de l'ensemble des résultats, on trouvera facilement l'abaissement limite.

Mes résultats sont très différents de ceux que M. Raoult a donnés en 1892 [2]. Ils sont environ 1,09 — 1,08 — 1,07 fois plus petits.

Après la critique que j'avais faite de ces résultats, M. Raoult, ayant étudié l'influence du rayonnement dans les mesures cryoscopiques, a trouvé que, pour avoir les abaissements vrais, il fallait diviser les abaissements qu'il avait donnés par 1,002 [3].

Cette correction laisse encore subsister, entre les résultats de M. Raoult et les miens, des différences atteignant 0°,06 par degré d'abaissement. Je crois que ces différences, qui se retrouvent pour d'autres solutions, tiennent aux conditions différentes dans lesquelles nous opérons. En particulier, M. Raoult emploie comme éprouvette cryoscopique une éprouvette en verre épais, une éprouvette à gaz [4].

Or, quand on fait cesser la surfusion, on peut admettre que les parois de l'éprouvette ont la température du contenu. En moins de deux minutes le maximum de température est atteint : il est bien certain qu'à cause de la mauvaise conductibilité du verre (le réfrigérant étant d'ailleurs à 0°,25 au-dessous du point de congélation) les parois de l'éprouvette n'ont pas eu le temps de se réchauffer, et qu'elle agit par conséquent comme un réfrigérant. De telle sorte que la température lue dépend beaucoup de la vitesse d'agitation : l'agita-

---

(1) *Zeitschrift für physikalische Chemie*, XX Band, 2 Heft ; 1896, p. 230.
(2) *Comptes Rendus*, 1892.
(3) *Comptes Rendus*, 1896.
(4) Voy. la Conférence à la Société chimique du 19 mai 1894.

tion favorise la formation de glace, mais elle favorise aussi l'action réfrigérante de l'éprouvette. Dans tous les cas on a un point de congélation plus bas qu'avec une éprouvette mince.

L'affaissement du point de congélation n'est pas le même avec l'eau pure et avec une solution, de sorte qu'on a un abaissement trop grand pour une solution donnée. Quant à la valeur relative de l'erreur, elle pourrait être déterminée par des expériences sur des solutions concentrées, mais elle serait trop incertaine sur des solutions diluées : le mieux est de l'éliminer complètement [1].

Contrairement à M. Raoult, Loomis [2] trouve des résultats plus petits que les miens ; de plus, il trouve que l'abaissement moléculaire décroît toujours pour une plus grande dilution, et même très vite pour des solutions très diluées. Je suppose qu'il y a dans ses expériences une erreur systématique due à l'emploi d'eau et de solutions aérées ? Ce qui m'autorise à faire une telle supposition, ce sont les résultats ci-dessous que j'ai obtenus dans ces conditions ; le même jour : 26 janvier 1897.

Abaissements en $\frac{1}{2000}$ de degré	Abaissement moléculaire
1,2	12,9
1,9	10,1
5,6	15,45
15,2	16,31
38,6	17,64
67,9	18,36

Constante cryoscopique de l'eau. -- On connaît la relation suivante donnant l'abaissement moléculaire limite, la concentration étant de n molécules dans 100 grammes (de solution ou d'eau, cela est indifférent à la limite) :

$$\text{Abaissement moléculaire limite} = \text{limite } \frac{abt}{n} = i\,\frac{RT_0^2}{El_0}\,\frac{1}{100}.$$

i étant défini par la relation :

$$\Pi V = iRT_0,$$

Π, pression osmotique exercée par 1 molécule dans un volume V de la solution.

---

(1) Quand on emploie une gaine de glace, il faut attendre que cette gaine de glace soit bien à la température de la solution congelée qu'elle renferme.

(2) *Berichte*, 1893, p. 801.

La constante cryoscopique $\frac{RT_0^2}{100E l_0}$ peut être calculée avec une approximation qui dépend de celle des constantes R, E, l_0.

Expérimentalement, les mesures cryoscopiques et osmotiques pourraient la donner si elles étaient effectuées avec une précision suffisante. Je crois que l'erreur maximum sur le nombre 18,77 que j'ai donné ne dépasse pas 1 0/0. Mais les expériences de Pfeffer sur la pression osmotique des solutions de sucre ne peuvent pas permettre d'affirmer que $i = 1$ rigoureusement ni donner une valeur de i certaine.

Pour toutes ces raisons la constante cryoscopique de l'eau n'est pas encore connue avec précision.

Décharge par les rayons Röntgen. — Effet métal;

PAR M. JEAN PERRIN [1].

Dans des recherches antérieures, déjà publiées en partie dans ce journal [2], j'avais obtenu les résultats suivants :

a) Les rayons de Röntgen peuvent décharger, sans les rencontrer, des corps électrisés situés dans un gaz en repos. Pour abréger, j'appelle cette décharge *effet gaz*.

b) Cet effet gaz se poursuit jusqu'à décharge complète des corps intéressés. Incidemment, j'en ai déduit une méthode pratique pour mesurer les différences de potentiel apparentes dues au contact de deux métaux dans un gaz.

La décharge complète par les rayons Röntgen prouve que ces rayons n'agissent pas exclusivement en rendant conductrices les régions qu'ils traversent dans un gaz : il se produirait alors un effet de condensation, et non une décharge totale.

c) L'effet gaz n'est pas dû à une convection ou à une diffusion du gaz directement atteint par les rayons. Il se produit à l'intérieur de chaque tube de force coupé par ces rayons; tout le long de ce tube, le gaz acquiert des propriétés conductrices, tandis que ce gaz reste

---

(1) Séance du 19 mars 1897.
(2) *Séances de la Société*, année 1896; p. 254.

isolant dans un tube de force immédiatement contigu, mais non rencontré.

En d'autres termes, là où des rayons traversent un gaz apparaissent des charges égales et contraires : c'est ce que j'appellerai l'*ionisation* du gaz. Puis ces charges, sous l'influence du champ, se meuvent le long des tubes de force qui les contiennent jusqu'à ce qu'elles rencontrent un métal, qu'elles déchargent, ou une surface isolante solide ou liquide, qu'elles chargent.

d) L'ionisation est indépendante du champ qui la révèle. L'ionisation à l'intérieur d'un certain volume est mesurée par la limite qu'atteint, quand le champ croît, le débit d'électricité produit par les rayons dans ce volume.

e) L'*ionisation en un point* varie proportionnellement à la pression, et reste indépendante de la température.

Elle varie comme l'inverse du carré de la distance entre le point et la source, ce qui permet de fixer une unité de quantité pour les rayons de Röntgen.

f) Le coefficient d'ionisation d'un gaz est le nombre par lequel se trouve multipliée l'ionisation en un point, quand l'air y est remplacé par ce gaz.

Effet métal. — 1. Les lois précédentes ne suffisent plus à expliquer les phénomènes quand les rayons rencontrent les corps chargés. Pour s'en assurer, il suffit de se rappeler les observations déjà anciennes de MM. Benoist et Hurmuzescu [1] qui, par exemple, montrèrent qu'un disque de platine, frappé par les rayons, se décharge plus vite qu'un disque d'aluminium géométriquement identique.

J'ai tenté de faire l'analyse du phénomène dans le cas où les corps chargés sont ainsi rencontrés par les rayons. J'appelle *effet métal* ce qui vient alors s'ajouter à l'effet gaz pour obtenir l'effet total.

J'ai étudié cet effet métal dans le cas d'un condensateur plan où les rayons entrent perpendiculairement aux armatures, et j'ai pu suivre une méthode analogue à celle qui m'avait servi pour l'effet gaz.

2. J'ai d'abord comparé les deux effets par une méthode de compensation.

ABCD (*fig.* 1) est un condensateur plan. La région centrale $\alpha\beta$ de l'armature AB est séparée par un sillon du reste de cette armature, qui forme anneau de garde. Cette plaque $\alpha\beta$, longue de plusieurs

---

(1) *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 779.

centimètres dans la direction perpendiculaire au plan de figure, a seulement 1 centimètre dans le sens des flèches.

Un pinceau de rayons, figuré par ces flèches, traverse le condensateur sans en toucher les armatures, puis entre dans un deuxième condensateur A'B'C'D', perpendiculairement aux armatures, par une fenêtre KL, percée dans l'armature C'D' et couverte d'une feuille très mince d'aluminium battu. L'épaisseur du deuxième condensateur est exactement égale à αβ, soit à 1 centimètre. Enfin les plaques A'B'

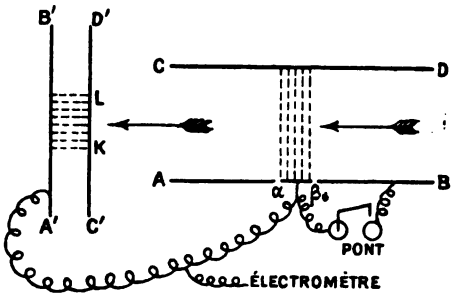


Fig. 1.

et αβ, liées d'une manière fixe à l'aiguille de l'électromètre, sont liées au sol et à l'anneau de garde AB par un pont que l'on coupe avant de faire passer les rayons, en sorte qu'elles sont d'abord au potentiel de AB. Soit zéro ce potentiel; C'D' et CD sont portées par une pile de charge soit à des potentiels de même signe, soit à des potentiels de signe contraire (±120 volts), de manière que les quantités d'électricité débitées par A'B' et par αβ s'ajoutent ou se retranchent sur l'électromètre.

Par construction, chaque rayon du pinceau employé est intéressé sur la même longueur par les tubes de force émanés de αβ et par ceux qui émanent de A'B'. L'effet gaz est donc le même dans les deux condensateurs [1]. Soit g cet effet. Soit m l'effet métal produit dans le deuxième condensateur ; par définition de m, l'effet total dans ce condensateur est $m + g$; il est $\pm g$ dans le premier condensateur.

L'opposition des deux condensateurs sur l'électromètre donnera donc m par la lecture directe ; leur addition donnera $m + 2g$, d'où m et g.

---

[1] J'ai, en effet, vérifié (*Eclairage électrique*, t. X, p. 481) que l'angle du champ électrique avec les rayons n'influe pas sur l'effet gaz.

3. J'ai ainsi vu que l'effet métal est nul quand, pour chacune des armatures A'B' et C'D', la face tournée vers l'intérieur du condensateur est badigeonnée de pétrole, d'alcool ou d'eau ; même il suffit de badigeonner les parties qu'atteignent les rayons, l'état du reste de ces surfaces n'influant pas : alors tout se réduit à l'effet du gaz.

Mais l'effet métal prend une valeur mesurable si l'une des parties atteintes par les rayons sur ces faces internes est, par exemple, une surface propre et sèche d'or, ou, plus généralement, d'un *métal* quelconque. Ici encore, les parties atteintes par les rayons interviennent seules, et par leur surface immédiatement contiguë au gaz, les couches sous-jacentes n'influant pas.

J'ai vérifié que le signe de la charge de A'B' n'intervient pas. Il est de même indifférent qu'on relie à l'aiguille la plaque A'B' ou la plaque C'D', ce qui était probable, l'électricité perdue par l'une devant être gagnée par l'autre.

4. Si deux portions de surface, atteintes séparément par les rayons, donnent des effets métal m et m', il m'a toujours semblé que, lorsqu'elles sont atteintes ensemble, elles donnent l'effet métal $m + m'$. Par exemple, partant du cas où, les faces internes de A'B' et C'D' étant pétrolées, l'effet métal y est nul, j'ai d'abord couvert par une feuille d'or battu la face interne de A'B', et obtenu un certain effet métal (67 divisions de l'échelle) ; puis, j'ai aussi couvert par une feuille d'or la face interne de C'D' (en sorte que les rayons rencontraient de l'or aux deux extrémités des tubes de force qu'ils intéressaient dans le deuxième condensateur), et j'ai obtenu un effet métal sensiblement double (131 divisions).

Cette expérience montre le caractère additif de l'effet métal.

5. Ce caractère additif s'accuse encore lorsqu'on fait varier l'épaisseur d'un condensateur frappé en bout par les rayons. De part et d'autre, et à égale distance d'une plaque A, au potentiel zéro, et liée à l'aiguille d'un électromètre (*fig.* 2), je disposais deux plaques A' et A'' portées par une pile de charge à des potentiels de signe contraire. Les rayons entraient perpendiculairement aux plaques par les fenêtres K'L' et KL couvertes de feuilles minces d'aluminium. Alors la plaque A débitait, par exemple, de l'électricité positive par sa face antérieure et de l'électricité négative par sa face postérieure.

Les deux condensateurs AA', AA'' sont géométriquement identiques : l'effet gaz y a donc même valeur. D'autre part, dans le premier (AA') les deux faces internes des armatures sont pétrolées, en

sorte que l'effet métal y est nul. L'électromètre accuse donc seulement l'effet métal produit dans le deuxième condensateur AA″ (et dû à ce que la face interne de A″ est formée par une feuille de plomb). J'ai ainsi constaté que, pour des épaisseurs de 1, 2, 3 et 5 centimètres, cet effet métal était représenté par 41, 43, 42 et 39 divisions de l'échelle graduée.

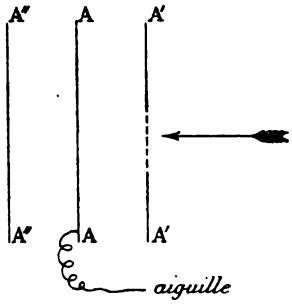


Fig. 2.

Bref, dans un condensateur d'épaisseur e, frappé en bout par le rayon, l'effet total sera de la forme $a + be$, a et b désignant deux constantes, le terme a désignant l'effet métal, et le terme be désignant l'effet gaz.

6. J'ai réalisé une expérience qu'on pourra comparer à celle qui m'a permis de reconnaître le rôle des tubes de force dans l'effet gaz [1] et qui prouve que l'effet métal se localise entièrement sur la surface frappée par les rayons.

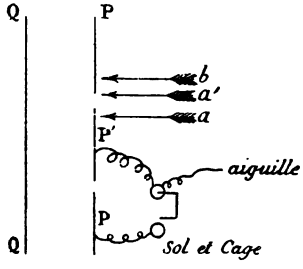


Fig. 3.

J'employais un condensateur PQ (*fig.* 3) formé par deux plaques

(1) *Séances de la Société*, année 1896 ; p. 259.

métalliques écartées de 2 centimètres, l'une P en aluminium, l'autre Q en plomb.

Une pile de charge établissait une différence de potentiel constante entre P et Q. Si alors on coupait la communication entre P′ et P, la plaque P′ se trouvait isolée, et pourtant au même potentiel que le reste de la plaque P qui jouait le rôle d'anneau de garde. On faisait alors pénétrer dans le condensateur, perpendiculairement aux armatures, un pinceau de rayons qui, dans sa partie la plus large, avait $0^{cm},5$, pénombre comprise. Ces rayons y produisaient un effet gaz, et, à cause du plomb de la face Q, un effet métal.

Or la décharge accusée par la plaque P′, rapide quand les rayons passaient en *a* (120 divisions de l'échelle), sensiblement la même quand ils passaient en *a′*, devenait pratiquement nulle (moins d'une division) quand ils passaient en *b*.

D'autre part, sur les 120 divisions indiquées sur l'échelle où se lisaient les déplacements de l'aiguille quand le rayon passait en *a′*, 40 disparaissaient quand je pétrolais la face Q.

L'effet métal décelé par la plaque P′ était donc au moins divisé par 40 quand le rayon passait de *a′* en *b*. Un déplacement de $0^{cm},5$ suffisait pour cela, alors que, l'épaisseur du condensateur étant 2 centimètres, tout ce qui aurait pu être dû à un effet de fluorescence, à une convection ou à une diffusion n'aurait pu être sensiblement altéré par ce déplacement.

Mais les extrémités, sur le plomb de la face Q, des lignes de force issues de P′, extrémités qui, pour la position *a′*, étaient atteintes par les rayons, ne l'étaient plus pour la position *b*.

Cette expérience entraîne l'énoncé suivant :

7. *Ionisation superficielle.* — En tous les points qu'atteignent des rayons Röntgen dans la surface de séparation d'un gaz et d'un métal, se forment des quantités égales d'électricité positive et négative, ou, d'une manière abrégée, une *ionisation superficielle*. S'il existe un champ électrique, les charges d'un certain signe sont aussitôt absorbées par le métal, et les charges de signe contraire s'éloignent de ce métal, en décrivant les tubes de force aux extrémités desquelles elles se trouvaient d'abord.

8. Comme pour l'effet gaz, j'ai vérifié que la quantité d'électricité débitée par l'effet métal dans un condensateur donné atteint rapidement une valeur limite, quand le champ électrique grandit. Le résul-

tat permet, en suivant une marche analogue, de définir et de mesurer ce qu'on appellera *ionisation superficielle en un point.*

9. A une même distance de la source, l'ionisation par unité de surface m'a paru indépendante de l'inclinaison sur le rayon. J'inclinais à 45° sur le rayon le condensateur A'B'C'D' de la *fig.* 1 (seul conservé), où la fenêtre KL était assez large pour n'intercepter aucun des rayons utilisés dans la première position. Le volume intéressé par les rayons dans ce condensateur et, par conséquent, l'effet gaz étaient donc multipliés par $\sqrt{2}$. D'autre part, j'ai vérifié à moins de $\frac{1}{100}$ près que l'effet total était multiplié par $\sqrt{2}$. L'effet métal, différence de ces deux effets, était donc aussi multiplié par $\sqrt{2}$, précisément comme la surface frappée par les rayons.

De même, j'ai vérifié, quand la distance à la source varie, que l'ionisation par unité de surface varie comme l'inverse du carré de cette distance. Ou, ce qui revient au même, un cône de même angle solide produit, à toute distance, le même effet métal dans un condensateur BB' laissé normal aux rayons. Cela, bien entendu, dans les limites où l'absorption est négligeable.

Bref, l'ionisation superficielle en un point varie comme l'inverse du carré de la distance entre le point et la source.

Cette loi permettrait de fixer, d'une manière indépendante de celle qui m'a été fournie par l'effet gaz, l'unité de quantité de rayons Röntgen. Je crois préférable de garder la première définition, c'est-à-dire de prendre pour unité la quantité de rayons qui, dans l'air, sous la pression de 76 centimètres, libère dans une couche sphérique centrée sur la source et de 1 centimètre d'épaisseur, une unité électrostatique C. G. S d'électricité positive.

10. Soit donc Q la quantité de rayons supposée rayonnée uniformément dans l'angle solide ω; l'ionisation superficielle dans l'élément de surface ds, pris dans la surface de séparation du gaz a et du métal b sera, sous la pression de 76 centimètres et à la température ordinaire

$$M_{a,b} \frac{Q}{\omega} \frac{ds}{r^2}.$$

Je propose d'appeler *coefficient d'ionisation superficielle* les coefficients $M_{a,b}$ qui, pour chaque couple gaz-métal, caractérisent l'effet métal. Ils formeraient une classe de constantes qu'on pourrait com-

parer, à certains égards, aux tensions superficielles ou aux forces électromotrices de contact.

Quelques-uns d'entre eux, mesurés grossièrement, sont rassemblés dans le tableau suivant:

$M_{Au,air} = 0,9$	$M_{Zn,air} = 0,70$	$M_{Pb,air} = 0,6$	$M_{Al,air} = 0,0$
	$M_{Zn,CO^2} = 0,80$		$M_{Al,CO^2} = 0,0$
	$M_{Zn,H^2} = 0,5$		$M_{Al,H^2} = 0,2$

11. L'influence des variations de température m'a paru faible ou nulle.

Les variations de pression agissent d'une façon plus complexe, que je n'ai pu encore exprimer par une loi simple. De même, et cela en est une conséquence, je ne connais pas de loi simple qui exprime d'une façon générale l'influence de la pression sur l'effet total, somme de l'effet gaz et de l'effet métal.

12. En définitive, si nous supposons connue l'influence de la pression sur l'effet métal, on pourra calculer, dans tous les cas, la quantité d'électricité perdue par un corps sous l'influence des rayons de Röntgen.

Imaginons, par exemple, un condensateur plan d'épaisseur l centimètres, perpendiculaire aux rayons qui y pénètrent par une armature en aluminium, l'autre armature étant en zinc, et supposons que l'on cherche la quantité d'électricité positive qui passe d'une armature à l'autre quand une quantité de rayons Q entre dans le condensateur. L'application des lois élémentaires que j'ai données montre que, dans l'hydrogène, cette quantité sera, en unités électrostatiques C. G. S. :

$$Q\,(M_{Al,H^2} + lG_{H^2} + M_{Zn,H^2}) = Q\,(0,2 + l.0,026 + 0,5);$$

G_{H^2} étant le coefficient d'ionisation de l'hydrogène, que des mesures directes m'ont prouvé égal à 0,026.

Dans l'air, elle serait :

$$Q\,(M_{Al,air} + lG_{air} + M_{Zn,air}) = Q\,(0,0 + l.1 + 0,7).$$

Ainsi le phénomène complexe de la décharge par les rayons Röntgen résulte de la superposition de deux phénomènes, l'effet gaz et l'effet métal, séparément régis par des lois simples.

Sur le rhéographe à induction Abraham-Carpentier ;

PAR M. H. ABRAHAM [1].

De nombreuses méthodes ont été proposées pour l'étude des courants à variations rapides ; l'une des plus séduisantes consiste dans l'emploi des appareils auxquels M. Blondel a proposé de donner le nom d'*oscillographes*, et que nous appellerons de préférence *rhéographes*. Le but à poursuivre est d'établir un galvanomètre dont la déviation soit à chaque instant proportionnelle au courant étudié. Un dispositif optique permettra ensuite l'observation directe des variations du courant, ou bien leur enregistrement photographique.

ENREGISTREMENT DES INTENSITÉS. — Les petites déviations θ du cadre mobile d'un galvanomètre [2] satisfont à une équation de la forme

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gi, \qquad (1)$$

où figurent la force d'inertie $K\frac{d^2\theta}{dt^2}$, la force de frottement $A\frac{d\theta}{dt}$, la force directrice $C\theta$, et la force motrice Gi proportionnelle à l'intensité i du courant qui passe dans le galvanomètre.

Dans les galvanomètres enregistreurs ordinaires, le courant i est précisément celui dont on veut enregistrer les variations. On cherche alors à assurer la proportionnalité entre θ et i, en s'efforçant de rendre négligeables les forces d'inertie et d'amortissement [3].

Je me propose d'exposer une solution plus complète du problème.

Le courant i qui circule dans le galvanomètre n'est plus le courant que l'on veut étudier ; je distinguerai ce dernier en l'appelant I.

D'après l'équation (1), il est certain que la déviation θ serait à chaque instant proportionnelle à ce courant I, si l'on faisait en sorte que les deux courants I et i fussent liés par une équation de même

---

(1) Séance du 2 avril 1897.

(2) Le galvanomètre à aimants mobiles nous a paru d'un usage moins commode.

(3) BLONDEL. — Oscillographe. Nouveaux appareils pour l'étude des oscillations électriques. — *Comptes Rendus*, t. CXVI, p. 502 ; 1893.

forme que (1) :

$$K \frac{d^2I}{dt^2} + A \frac{dI}{dt} + CI = \lambda i, \qquad (2)$$

avec les mêmes coefficients K, A, C que précédemment [1].

Or on peut arriver à ce résultat en se servant de capacités ou en faisant appel aux phénomènes d'induction.

Je n'emploie pas les capacités en raison des charges résiduelles ; voici alors l'un des montages possibles (*fig.* 1) :

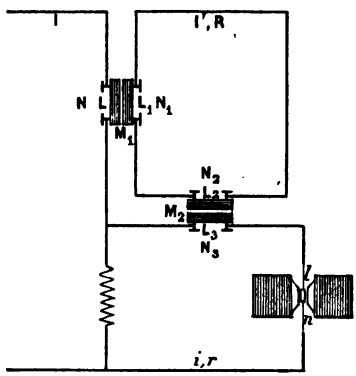


Fig. 1. — Schéma des circuits.

Le courant primitif I agit par induction sur un circuit auxiliaire où il crée une force électromotrice rigoureusement proportionnelle à $\frac{dI}{dt}$, pourvu que l'on soit assez loin de toute masse de fer. Si ce circuit auxiliaire n'a pas d'induction propre sensible, le courant produit I' est, lui aussi, proportionnel à $\frac{dI}{dt}$. Ce courant auxiliaire I' agit à son tour par induction sur le circuit du galvanomètre. Il en résulte un

[1] Si l'on pouvait faire en sorte que l'appareil répondît *rigoureusement* aux équations (1) et (2), l'intégrale particulière que nous adoptons : $\theta = \frac{G}{\lambda} I$ serait la solution *rigoureuse* du problème, sans qu'aucun terme exponentiel dût être introduit même pour l'enregistrement d'une décharge isolée. Dans ce dernier cas, en effet, les *conditions initiales* seraient les mêmes pour les deux variables θ et I et pour leurs dérivées premières, puisque l'appareil est supposé partir du repos.

courant qui, encore sous réserve d'une induction propre négligeable, est, lui, proportionnel à la dérivée seconde $\frac{d^2I}{dt^2}$.

Nous avons ainsi le premier terme de l'équation (2). Il est aisé d'obtenir les deux autres. Pour introduire un terme en $\frac{dI}{dt}$, il suffit de laisser subsister une certaine induction mutuelle réglable entre le circuit du courant primitif I et le circuit du galvanomètre.

Quant au terme en I, on l'obtiendra en établissant une connexion directe entre ces deux mêmes circuits (1).

Dans ces conditions, pourvu que les différents termes aient des valeurs convenables, et moyennant les réserves que nous allons examiner, la déviation θ sera proportionnelle à chaque instant à l'intensité du courant I, et il suffira, pour obtenir la courbe du courant (2), de combiner optiquement le mouvement du galvanomètre avec celui d'un miroir tournant.

Enregistrement des forces électromotrices. — Appliquons la force électromotrice étudiée E à un circuit contenant une forte résistance ρ presque dépourvue d'induction propre. Le courant I ne sera pas éloigné d'être proportionnel à E, mais ces deux quantités seront en réalité liées par l'équation :

$$\rho I + L\frac{dI}{dt} = E.$$

Or on veut que θ soit proportionnel à E. En se reportant à l'équation (1), on voit alors que le courant i doit être lié à I par une équation contenant, comme précédemment, des termes en I, $\frac{dI}{dt}$, $\frac{d^2I}{dt^2}$, et, en outre, un terme en $\frac{d^3I}{dt^3}$. Les trois dérivées seront introduites par trois inductions successives.

Discussion. — Admettons qu'il s'agisse de l'enregistrement des intensités :

1° En premier lieu, nous avons supposé essentiellement que les

---

(1) Il va sans dire qu'on pourrait aussi obtenir le terme en $\frac{dI}{dt}$ au moyen d'une connexion du circuit du galvanomètre et du circuit intermédiaire.

(2) Une modification évidente permet l'enregistrement des variations d'un flux magnétique.

phénomènes d'induction propre étaient négligeables. Il faut pour cela que les constantes de temps $\frac{L}{R}$ des enroulements employés soient très petites. On descend aisément au-dessous du cent millième de seconde. Néanmoins, cette condition tend à limiter la rapidité des indications que l'on peut demander à l'appareil. Je me hâte de dire que l'on rendrait ces indications aussi rapides qu'on le voudrait en augmentant la résistance des circuits, mais ce serait aux dépens de la sensibilité ;

2° Nous ne devons pas oublier que la rotation du cadre dans le champ magnétique produit une force électromotrice induite. Mais cette force électromotrice est proportionnelle à la vitesse angulaire du cadre ; le terme qui en résulte sera donc proportionnel à $\frac{d\theta}{dt}$. Je n'ai pas à m'en préoccuper, il se joint au terme de même espèce de l'équation (1), et c'est la *somme* de ces deux termes qui correspond au terme en $\frac{dI}{dt}$ de l'équation (2) ;

3° J'observe enfin qu'il faut se mettre en garde contre la singularité qui se présente quand il peut y avoir résonance.

Reprenons nos deux équations :

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gi \qquad (1)$$

$$K\frac{d^2I}{dt^2} + A\frac{dI}{dt} + CI = \lambda i. \qquad (2)$$

Si le galvanomètre oscillait librement, la déviation serait une fonction du temps annulant identiquement le premier membre de l'équation (1). A un moment donné, supposons que, pour un certain temps, le courant I devienne une fonction du temps identique à celle dont nous venons de parler. La déviation θ ne continuera alors à représenter exactement I que si le courant i est rigoureusement nul. S'il n'en est pas ainsi, si petit que soit i, il y aura *résonance*, et la fonction θ sera profondément altérée.

Or i ne sera pas exactement nul pour cette double raison que d'une part, les valeurs relatives des termes de l'équation (2) ne seront pas *parfaitement* réglés et que, d'autre part, nous avons négligé l'induction propre des circuits qui est faible, mais non pas nulle.

Il est donc de toute nécessité que les mouvements propres du

cadre ne soient pas du même ordre de rapidité que les variations du courant à enregistrer. Et comme le problème intéressant est d'étudier des variations rapides, nous sommes conduits à donner au cadre mobile un mouvement propre infiniment lent. Pratiquement, la durée d'oscillation doit être de l'ordre de une seconde et le mouvement doit être sensiblement apériodique.

De tout cela résulte que la force d'inertie $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ sera, dans les applications, de beaucoup supérieure aux forces d'amortissement et aux forces directrices [1].

En conséquence, dans l'équation (2), la partie principale du premier membre sera $K\frac{d^2I}{dt^2}$; les termes en $\frac{dI}{dt}$ et en I ne seront que des termes correctifs dont le réglage devra assurément être fait, mais sans qu'il soit nécessaire d'y apporter un soin extrême;

4° Nous sommes maintenant en mesure de rechercher approximativement les conditions de sensibilité maxima.

Désignons par M_1, M_2 nos deux coefficients d'induction mutuelle (*fig.* 1) ; par L, L_1, L_2, L_3, l les coefficients d'induction propre des enroulements, et par R et r les résistances des circuits.

Nous aurons immédiatement en négligeant toute correction

$$i = \frac{M_1 M_2}{Rr}\frac{d^2I}{dt^2},$$

avec

$$Gi = K\frac{d^2\theta}{dt^2},$$

ce qui donne

$$\theta = I \times \frac{G}{K} \times \frac{M_1 \times M_2}{R \times r}.$$

Or les résistances R et r sont imposées par la condition que les constantes de temps soient au plus égales à une certaine limite α. On fera donc approximativement :

$$R = \frac{I}{\alpha}(L_1 + L_2)$$

$$r = \frac{I}{\alpha}(L_3 + l),$$

---

[1] Il suffit de constater comment varient, quand ω croît, les quantités :

$$\theta = \sin \omega t, \qquad \frac{d\theta}{dt} = \omega \cos \omega t, \qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega^2 \sin \omega t.$$

et la sensibilité sera donnée par l'expression :

$$\frac{\theta}{I} = \alpha^2 \frac{G}{K} \times \frac{M_1 \times M_2}{(L_1 + L_2)(L_3 + l)}.$$

Pour un galvanomètre donné, G, K, l sont constants, mais les coefficients d'induction dépendent des enroulements extérieurs. Si les bobines qui agissent l'une sur l'autre sont très rapprochées, ces coefficients ont comme expression en fonction des nombres de tours

$$M_1 = \mu_1 N N_1 \qquad L = \mu_1 N^2$$
$$M_2 = \mu_2 N_2 N_3 \qquad L_1 = \mu_1 N_1^2$$
$$L_2 = \mu_2 N_2^2$$
$$L_3 = \mu_2 N_3^2.$$

On voit alors sans peine que *la sensibilité est maxima*, quelle que soit la forme des bobines, *quand on fait*

$$L_1 = L_2 = L_3 = l,$$

ce qui entraîne

$$R = r,$$

et cette sensibilité maxima est

$$\frac{\theta}{I} = \frac{\alpha^2}{4} \frac{G}{K} \sqrt{\frac{L}{l}}.$$

Maintenant, comment doit-on choisir le galvanomètre ? Si S est la surface totale de la bobine, $\mathcal{H}$ le champ magnétique, la valeur de G est $\mathcal{H}S$, et l'on a

$$\frac{\theta}{I} = \frac{\mathcal{H}\alpha^2}{4} \frac{S}{K} \times \sqrt{\frac{L}{l}}.$$

On prendra donc un *champ magnétique très intense.*

On devra aussi réduire le moment d'inertie K, c'est-à-dire *faire la bobine aussi légère que possible.* Il n'y aura plus intérêt à l'alléger quand le moment d'inertie du fil de cuivre qui la constitue sera devenu égal à celui des accessoires qu'elle porte : miroir et pièces d'attache du fil de torsion, qu'on devra prendre eux-mêmes très légers.

On peut donc considérer le dénominateur K comme fixé. La sen-

sibilité ne dépend plus alors que de $\frac{S}{\sqrt{l}}$. Elle sera d'autant plus grande que la bobine sera plus allongée, mais elle est *indépendante du mode d'enroulement* de la bobine.

Nous avons adopté une bobine ayant un petit nombre de tours de fil pour faciliter la construction et aussi pour ne pas laisser trop d'importance au terme d'amortissement.

En résumé [1], le maximum de sensibilité est obtenu quand on réalise les conditions suivantes :

1° Les résistances des deux circuits sont égales ;

2° Les coefficients d'induction propre des enroulements sont égaux à celui de la bobine mobile ;

3° Le champ magnétique est aussi grand que possible ;

4° La bobine est *allongée*, et son moment d'inertie est égal à celui du miroir.

Réalisation pratique du rhéographe. — La *première partie* de l'appareil, la plus délicate, c'est le galvanomètre.

Le champ est créé par un électro-aimant. Le cadre mobile n'a que quelques millimètres de large, il est tout entier recouvert par le miroir et occupe presque tout l'entrefer.

Il faut éviter que les mouvements du cadre entraînent des vibrations transversales du fil de torsion. On réduit la tendance à ces trépidations irrégulières en équilibrant avec soin la bobine ; puis on les rend, pour ainsi dire, impossibles par l'emploi de deux petits coussins sur lesquels le fil de torsion s'appuie légèrement, ou bien encore en faisant tourner l'équipage mobile entre *rubis*.

La *seconde partie* de l'appareil est formée par les circuits accessoires. Ils sont rassemblés sur une planchette indépendante et comprennent : 1° la bobine plate 1 où passe le courant I ; 2° la bobine induite 2 du circuit auxiliaire ; 3° (sur un même cadre) le circuit inducteur auxiliaire 3 et l'enroulement induit 4 qui sera relié en G au galvanomètre : cette bobine double est mobile pour le réglage du terme en $\frac{dI}{dt}$; 4° le rhéostat à curseur 5 servant à régler le terme en I (*fig.* 2).

---

[1] On montrerait encore qu'il n'y a rien à craindre des capacités des bobines très petites que l'on emploie, non plus que de l'influence des courants induits sur les courants inducteurs, etc...

Une *troisième partie* est nécessaire, c'est le dispositif d'enregistrement. Un point lumineux (arc électrique diaphragmé) émet un faisceau horizontal de rayons. Ceux-ci tombent sur un miroir plan ver-

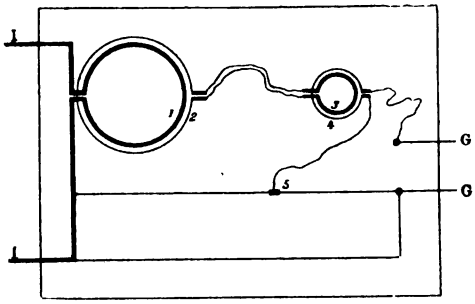


Fig. 2.

tical M qui, les faisant tourner d'un angle droit, les envoie sur le miroir concave du galvanomètre et les reprend ensuite pour les diriger vers une plaque photographique où se peint l'image du point lumineux.

La plaque sensible est au fond d'une chambre noire photographique sans objectif. Elle est protégée par un système de trois écrans noirs, et cela permet d'opérer en plein jour.

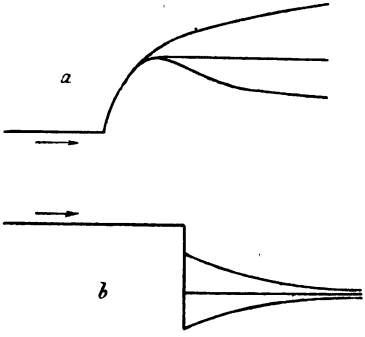


Fig. 3.

a, établissement du courant permanent ; le terme en I est trop grand pour la courbe supérieure, puis juste, enfin trop faible. — *b*, rupture du courant avec un terme en $\frac{dI}{dt}$ successivement trop grand, exactement réglé et trop faible.

Le miroir M peut tourner autour d'un axe horizontal et, comme le

galvanomètre a son axe de rotation vertical, la combinaison des deux mouvements fournit la courbe du courant [1].

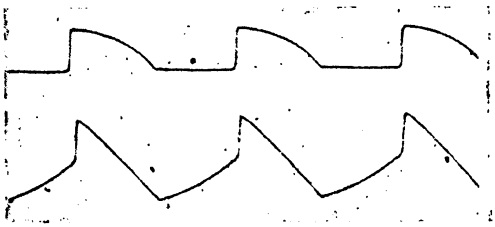


FIG. 4. — RÉGLAGE. — On enregistre le courant qui sert à l'entretien d'un diapason à 100 périodes par seconde. Le terme en I est exactement réglé. Le terme en $\frac{dI}{dt}$ d'abord trop faible, mais extrêmement peu, est ensuite sensiblement trop fort.

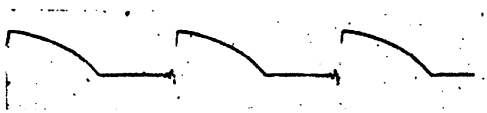


FIG. 5. — Même expérience que pour la *fig.* 4. — Appareil réglé. — Oscillation du courant à la rupture quand on emploie le condensateur de Fizeau.

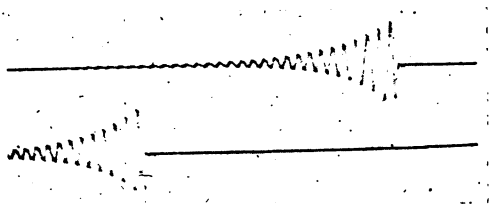


FIG. 6. — Deux fois le courant oscillatoire de la décharge d'un microfarad dans un circuit inductif. — Période = 0",0011. — Les oscillations sont provoquées par la suppression brusque du courant dans un circuit voisin. Vérification de la théorie des résonateurs Hertziens. L'influence de l'excitateur ne se fait sentir que sur les toutes premières vibrations du résonateur.

RÉGLAGE DU RHÉOGRAPHE. — Il ne saurait être question d'effectuer ce réglage par un calcul *a priori*. On le fait expérimentalement

---

[1] Pour des expériences de précision, le miroir M est porté par un petit pendule. On n'utilise le miroir qu'au moment où sa vitesse angulaire passant au voisinage d'un maximum est très exactement constante. Dans le cas où il s'agit de montrer les courbes à un auditoire, on se sert d'un miroir tournant ou oscillant synchronisé avec le phénomène périodique étudié.

en s'aidant de la forme des courbes obtenues lors de l'établissement et de la rupture d'un courant permanent. Nous en donnons d'abord une représentation schématique (*fig.* 3).

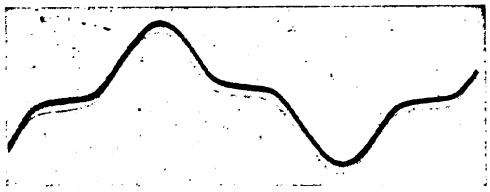


FIG. 7. — Déformation d'un courant *sinusoïdal* quand on s'en sert pour aimanter du fer à *saturation* $\left(\text{période } \frac{1}{25}\right)$ (image doublée par une réflexion parasite).

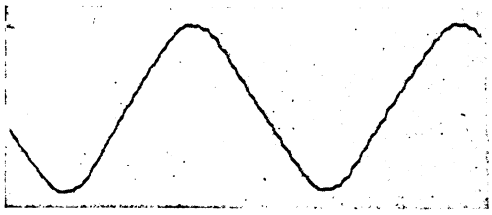


FIG. 8. — Courant d'une machine Gramme tétrapolaire. — Circuit non inductif. — La machine fournit, d'autre part, un courant continu : on reconnait le passage des touches du collecteur sous les balais $\left(\text{période } \frac{1}{60}\right)$.

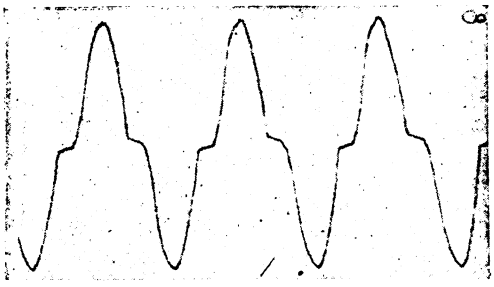


FIG. 9. — Le courant de la machine Gramme tétrapolaire à 60 périodes actionnant un arc (régulateur à main).

Voici maintenant une gravure faite d'après un cliché ayant servi au réglage (*fig.* 4).

Observons en terminant que le réglage ainsi effectué par un simple glissement des pièces mobiles est fait une fois pour toutes et ne

change plus, pourvu que le champ magnétique du galvanomètre reste le même [1].

Sur un phénomène relatif à la vision ;

PAR M. G. MESLIN [2].

Dans une communication récemment faite [3], *Sur les Illusions de la vue*, M. Sagnac a indiqué qu'un point noir se détachant sur un fond vivement éclairé peut, lorsqu'il est examiné par l'œil non accommodé sur ce point, donner plusieurs images (cinq ou six), distribuées sur le cercle de diffusion correspondant à ce point.

Ce phénomène peut s'expliquer, comme M. Sagnac l'a montré, par les aberrations de l'œil ; on peut aussi en fournir une explication équivalente, en développant ce que j'ai déjà eu l'occasion d'indiquer au sujet d'un phénomène d'optique [4]. Ce phénomène est celui qui se produit lorsqu'on regarde à travers un trou, très petit, en accommodant l'œil pour une distance éloignée et en interposant un objet délié entre l'œil et le trou ; dans le cercle de diffusion du trou se produit l'ombre de l'objet qui apparaît alors renversé. D'un autre côté, l'expérience de M. Sagnac pourrait aussi s'interpréter en admettant qu'il existe, dans les parties de l'œil antérieures à la rétine, des régions inégalement transparentes, soit qu'il s'agisse d'une transparence effective, soit encore d'*un phénomène produit par des réfractions*.

Or on est conduit à retrouver cette même explication lorsqu'on reproduit l'expérience que j'ai rappelée, mais sans interposer cette fois aucun objet entre le trou et l'œil. Si, alors, on porte son attention sur la tache de diffusion, on constate que, loin d'être uniforme, elle présente des parties radiales incomparablement plus éclatantes que le fond.

On peut les étudier aisément, soit à l'aide d'un trou, soit plus simplement, en regardant l'image d'une source réfléchie, par exemple, sur la partie arrondie d'une bague.

---

(1) Nous avons joint à cet article la reproduction de clichés relatifs à quelques-unes des applications que l'on peut faire de la méthode rhéographique (*fig.* 4 à 9) $\left(\text{échelle } \frac{1}{2}\right)$. Ces clichés ont été retouchés par l'auteur lui-même, en renforçant seulement les parties trop fines, que la photogravure est impuissante à rendre.

(2) Séance du 7 mai 1897.

(3) Voir p. 14.

(4) MESLIN, *J. de Physique*, 2e série, t. VI, p. 341 et p. 509.

En modifiant convenablement les distances, on arrive à percevoir les détails de cette tache de façon à pouvoir les dessiner; on retrouve toujours par un même œil le même aspect; la disposition change d'ailleurs d'un œil à l'autre, et voici, en ce qui me concerne, l'apparence que j'ai toujours observée depuis plusieurs années (*fig.* 1).

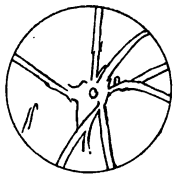


Fig. 1.

Fig. 2.

Lorsqu'il s'agit d'un œil myope, cette apparence est intimement liée à la forme sous laquelle cet œil perçoit les points lumineux éloignés (étoile, flamme d'un reverbère...), les rayons lumineux radiants étant en nombre égal et semblablement disposés.

Dans tous les cas, on peut ainsi étudier l'intersection de la rétine par la nappe lumineuse transformée par les parties antérieures, sur la structure desquelles on peut alors être renseigné.

On peut, de plus, suivant la distance du trou que forme la tache de diffusion et surtout, suivant l'accommodation, obtenir toutes les formes intermédiaires entre la précédente et celle-ci (*fig.* 2).

Voici enfin une expérience qui permet de reproduire les mêmes effets qu'avec l'œil et en même temps de montrer que tout se passe *comme si* on avait affaire à une transparence inégale et *comme si* la transmission se faisait spécialement par les parties radiales : A l'aide d'une première lentille on fait converger les rayons lumineux, par exemple les rayons solaires, sur un trou, de façon que ces rayons viennent ensuite couvrir la surface d'une deuxième lentille L qui donne sur un écran, en O′, une image du trou O. On couvre la lentille L à l'aide d'un papier translucide dans lequel on a découpé des secteurs étroits et inégalement distribués, de manière à avoir des parties radiales plus transparentes ; l'image O continue à être nette si la lentille L est suffisamment bonne ; mais, si on déplace légèrement l'écran, soit en avant, soit en arrière, on obtient des taches radiales légèrement allongées qui forment autant d'images du trou, disposées dans le cercle de diffusion et qui affectent sensiblement la forme de la *fig.* 2.

Electromètre absolu interférentiel pour la mesure de petites différences de potentiel;

Par MM. Perot et Fabry [1].

La force attractive F qui s'exerce entre deux conducteurs portés à des potentiels différents est liée à leur différence de potentiel électrostatique V par une relation de la forme $F = KV^2$, dans laquelle K est un coefficient purement numérique dépendant seulement de *la forme* du système, et qui ne varie pas quand il se modifie en restant semblable à lui-même.

Un pareil système peut servir d'électromètre idiostatique; la valeur de K caractérise la sensibilité de l'appareil. Dans les électromètres sensibles, on s'efforce de rendre K aussi grand que possible; dans les appareils absolus il faut, en outre, que cette constante puisse être numériquement calculée en fonction des dimensions de l'appareil, ce qui conduit à donner à celui-ci une forme géométrique simple.

Dans les appareils absolus actuellement en usage, la constante a toujours une valeur assez faible; la mesure de petites différences de potentiel est impossible. C'est ainsi qu'avec l'électromètre à anneau de garde de Lord Kelvin on ne peut pas mesurer de différences de potentiel inférieures à une centaine de volts; même pour des potentiels de cet ordre on est obligé d'employer une force électromotrice auxiliaire très élevée, en sorte que l'appareil n'est pas réellement idiostatique.

Nous sommes parvenus à accroître dans une telle mesure la sensibilité de l'instrument que l'on peut mesurer directement la force attractive correspondant à une différence de potentiel d'une douzaine de volts, en sorte que des différences de potentiel de cet ordre sont mesurées par une méthode idiostatique, sans l'intervention d'aucun potentiel auxiliaire.

Notre électromètre est un appareil à plateaux, dans lequel la distance des deux plans est extrêmement petite, $0^{mm},1$ environ : la force attractive est ainsi considérablement augmentée, car elle varie à peu près en raison inverse du carré de la distance. L'emploi d'aussi

[1] Séance du 4 juin 1897.

faibles distances exige que les surfaces soient parfaitement planes, et que leur écartement puisse être mesuré avec une grande précision, que seules les méthodes interférentielles pouvaient nous fournir. Nous avons été ainsi conduits à constituer les plateaux de notre électromètre par des disques de verre recouverts d'une couche d'argent conductrice, mais assez mince pour être transparente. L'étude des interférences produites entre ces deux surfaces permet la mesure précise de la distance des plateaux, comme on l'expliquera plus loin.

Avec des plateaux en verre aussi rapprochés, on ne peut employer d'anneau de garde; nous avons, en conséquence, constitué le plateau inférieur de l'appareil par la base plane d'un cylindre droit à arêtes vives, argenté sur les faces supérieure et latérale; le plateau supérieur est un disque de verre d'un diamètre sensiblement plus grand, qui joue le rôle d'un plateau indéfini.

En suivant l'élégante méthode exposée par M. Potier [1], on peut étudier la distribution électrique sur un pareil système, en négligeant la courbure du disque dont le rayon est très grand par rapport à la distance de deux plateaux. La *fig.* 1 donne la forme des lignes de

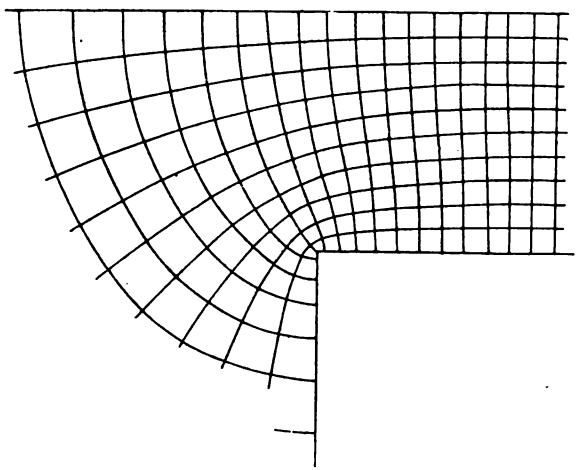


Fig. 1.

force et des courbes de niveau dans une section méridienne du système.

---

(1) Traduction française du *Traité d'électricité* de Maxwell, t. II, p. 563.

Soit h la distance des deux surfaces ; l'attraction des deux plateaux est la même que si, la distribution étant partout la même qu'à une grande distance des bords, le rayon était augmenté de $\frac{2h}{\pi}$; R étant alors le rayon du disque cylindrique, et V la différence de potentiel exprimée en unités électrostatiques, la force attractive sera :

$$F = \frac{\left(R + \frac{2h}{\pi}\right)^2 V^2}{8h^2}.$$

On voit que, pour calculer V, il suffit de mesurer R et h (qui n'entrent que par leur rapport), et la force F. Les deux premières quantités seront mesurées par une méthode interférentielle, et rapportées ainsi à une même unité. Au lieu de mesurer la force F produite par une différence de potentiel donnée, nous avons préféré faire l'inverse, et chercher la différence de potentiel qui produit une force attractive égale au poids d'une surcharge de masse connue. Cette différence de potentiel peut être alors calculée en unité absolue. On la compare immédiatement avec celle que l'on veut mesurer par la méthode d'opposition.

Nos mesures ont été rapportées à la force électromotrice à 0° de l'étalon Latimer-Clark; c'est à cet étalon qu'il faudra comparer la différence de potentiel qui vient d'être obtenue en valeur électrostatique.

Tel est le principe de la méthode employée. Nous allons entrer maintenant dans quelques détails sur la disposition de l'appareil, la manière de faire une mesure, et les résultats obtenus.

Description de l'appareil. — L'appareil, débarrassé de la cage qui le contient, est représenté par la *fig.* 2. Le plateau inférieur est constitué par la base plane d'un cylindre de verre ayant 6 centimètres de diamètre environ et 1 centimètre d'épaisseur. Une plaque de laiton, percée en son centre d'une ouverture un peu plus grande que le disque, porte celui-ci au moyen de trois taquets, en sorte que presque toute sa surface peut être traversée par la lumière; seuls les trois taquets porteront une ombre de très faible étendue. Deux fils tendus en croix sur l'ouverture de la plaque marquent le centre du disque de verre. Le disque et la plaque qui le porte sont isolés au moyen de trois cales de soufre; le tout est posé sur une plaque épaisse, portée par trois vis calantes qui dépassent le fond de la boîte

contenant l'appareil. On peut ainsi orienter le disque, qui restera fixe pendant une mesure.

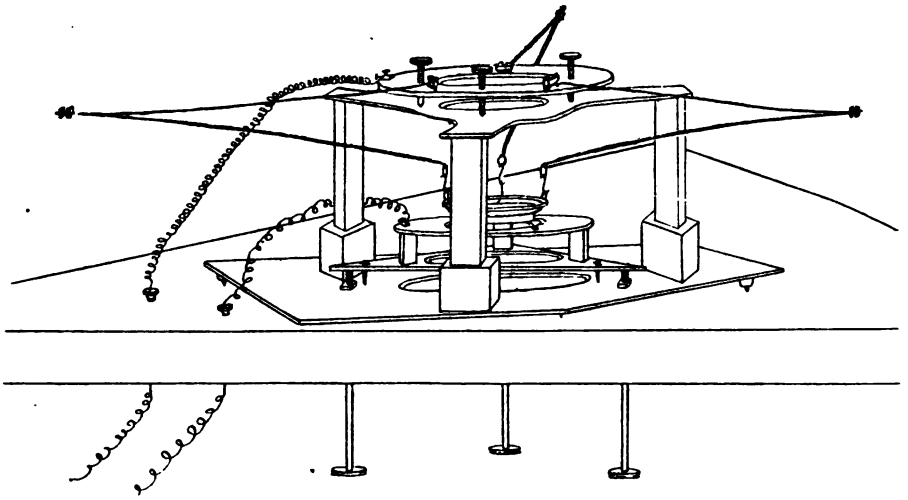


Fig. 2.

L'autre plateau, sensiblement plus large, fait l'office de plateau indéfini ; il est en verre mince (épaisseur, 2 millimètres) ; un repère tracé sur sa face supérieure en indique le centre et permet de le centrer par rapport au disque inférieur. Le plateau supérieur est suspendu à une très petite distance au-dessus de l'autre, par un système de trois ressorts. Le système fléchit de 1μ sous l'action d'une surcharge de 3 milligrammes environ. Le disque, avec les ressorts qui le soutiennent, est isolé par trois cales de soufre.

Pour éviter toute trépidation, l'appareil a été placé dans une cage vitrée, suspendue par des caoutchoucs au plafond d'une cave.

Sur le plateau supérieur on peut à volonté déposer sans secousse une surcharge de quelques centigrammes, exactement pesée, consistant en une boucle de fil de platine ; son mouvement [1] est obtenu par une communication pneumatique (*fig.* 3). C'est le poids de cette surcharge qui devra produire exactement le même effet que l'attraction électrique F ; pour cela, il ne suffit pas que les deux forces soient égales, il faut encore qu'elles soient appliquées au même point. On

[1] L'appareil destiné à produire ce mouvement a été supprimé sur la *fig.* 2, pour ne pas la compliquer inutilement ; cet appareil est représenté à part dans la *fig.* 3, sur laquelle la surcharge se voit en A.

arrive à ce résultat en modifiant convenablement le point où se pose le poids suivant un procédé de réglage qui sera exposé plus loin.

Les plateaux doivent être recouverts d'une couche d'argent assez mince pour laisser passer une quantité appréciable de lumière. Nous y arrivons en employant le procédé Martin avec des bains étendus d'une quantité d'eau convenable.

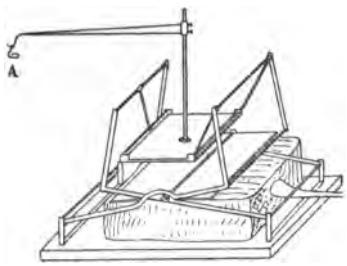


Fig. 3.

L'appareil doit pouvoir être traversé par un faisceau lumineux, primitivement horizontal, dont il est nécessaire de régler l'orientation et la position par rapport aux disques de l'électromètre. On y arrive en lui faisant subir deux réflexions successives sur des miroirs placés au-dessous de l'appareil ; ces deux réflexions se font sous l'incidence de 45°, l'une sur un miroir dont le plan est vertical, l'autre sur un miroir incliné à 45° sur l'horizontale. Le faisceau qui a traversé l'appareil est reçu sur un troisième miroir placé au dessus, qui le renvoie horizontalement ; il est reçu par l'observateur qui, selon les cas, observe à l'œil nu ou avec une lunette visant les plateaux de l'électromètre.

Les prises de contact sur les deux disques sont prises en dehors des régions utiles et ne troublent en rien le phénomène électrique.

Production d'une différence de potentiel variable. — La méthode employée exige, comme on l'a vu, que l'on puisse établir entre les plateaux de l'électromètre une différence de potentiel variable à volonté. Nous nous sommes servis pour cela d'une batterie de 13 accumulateurs Fulmen, dont l'un, C, était fermé sur deux boîtes de résistances égales BB′ (*fig.* 4), suivant la méthode indiquée par M. Bouty. En faisant varier le nombre d'accumulateurs pris dans la batterie A (ce que l'on fait commodément au moyen d'un coupleur à godets de

mercure), on peut faire varier la différence de potentiel de 0 à 24 volts par degrés de 2 volts environ. Les fractions de 2 volts s'obtiennent en faisant varier la résistance de la boîte B, la somme des résistances B et B′ étant maintenue constante (11110 ohms). On peut ainsi faire varier la différence de potentiel par degrés de $0^v,0002$, ce qui est bien plus que suffisant. Les accumulateurs Fulmen nous ont donné pleine satisfaction ; leur force électromotrice baisse très régulièrement d'environ $\frac{1}{100000}$ de leur valeur par heure. Pendant la durée d'une mesure, on peut la considérer comme parfaitement constante.

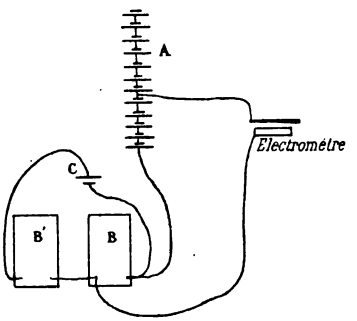


Fig. 4.

Chacun de ces accumulateurs est, avant ou après la mesure, comparé par la méthode d'opposition avec l'étalon que l'on veut mesurer en valeur absolue.

On utilise pour cela l'accumulateur C et les boîtes B et B′, et l'on équilibre successivement chacune des forces électromotrices à comparer au moyen de la différence de potentiel aux bornes de la boîte B.

L'équilibre est constaté au moyen d'un électromètre capillaire qui donne le $\frac{1}{40000}$ de volt.

Nous avons été amenés, pour éviter toute erreur due aux défauts d'isolement, à démonter nos boîtes de résistance et à les remonter sur des pièces isolées avec un mélange de soufre et de paraffine ; on les a réétalonnées après cette opération. L'isolement de l'ensemble de l'installation (électromètre, batterie, boîtes de résistance) était tel que l'appareil relié à un électroscope à feuilles d'or et chargé au moyen

d'une bouteille de Leyde, puis isolé, perdait sa charge en un quart d'heure.

L'étalon auquel nous avons rapporté toutes nos mesures est l'étalon Latimer-Clark maintenu à 0°, ce qui est la meilleure manière de l'employer. Une série de ces piles, de la forme en H, construites avec des produits d'origines différentes, et deux dispositions différentes, concordent au dix-millième de volt. Ces piles concordent aussi d'une manière satisfaisante avec un étalon de M. Carpentier, et un de la maison Fuess de Berlin; ces derniers ne peuvent malheureusement pas être employés d'une façon commode à 0°.

Mesure de la distance des plateaux. — Les méthodes employées pour régler le parallélisme des plateaux et évaluer leur distance sont des méthodes optiques, basées sur les propriétés des lames minces argentées; nous allons exposer ces propriétés.

Quand de la lumière homogène traverse ce que nous appellerons une *lame mince argentée* (lame mince d'air comprise entre deux lames de verre argenté), il se produit des phénomènes d'interférence dont l'aspect est différent des phénomènes ordinaires des lames minces, à cause du pouvoir réflecteur élevé des faces de la lame, qui a pour effet de donner une importance considérable aux réflexions multiples.

Si Δ est la différence de marche entre l'onde directe et l'onde qui a subi deux réflexions, les ondes successives présentent avec l'onde directe des différences de marche Δ, 2Δ, 3Δ, 4Δ, ..., et leurs intensités vont en décroissant, mais pas très rapidement. Si Δ est un nombre entier de longueurs d'onde, toutes ces ondes sont concordantes, et l'on a maximum de lumière ; mais, pour peu que Δ diffère d'un nombre entier, parmi les ondes plusieurs fois réfléchies, il s'en trouve qui ont avec l'onde directe une différence de marche qui diffère beaucoup d'un nombre entier de longueurs d'onde, et qui, par suite, affaiblissent beaucoup l'amplitude résultante.

Les franges auront donc l'aspect de lignes brillantes très fines tracées sur un fond presque complètement sombre. Le phénomène a quelque analogie avec celui qui se passe dans un réseau; dès qu'on s'écarte d'un maximum d'intensité, la lumière décroît très rapidement, à cause de l'existence d'ondes dont la différence de marche varie d'une manière très rapide.

D'ailleurs un calcul dû à Airy permet de faire la théorie complète du phénomène : si I_0 est l'intensité maximum, et f le pouvoir réflec-

teur de chaque face de la lame mince, l'intensité qui correspond à une différence de marche Δ est :

$$I = I_0 \frac{1}{1 + \frac{4f}{(1-f)^2} \sin^2 \pi \frac{\Delta}{\lambda}}.$$

Si la valeur de f ne s'écarte pas trop de 1, la fraction $\frac{4f}{(1-f)^2}$ est très grande. Par exemple, pour $f = 0{,}75$, cette fraction est égale à 48 et l'on a :

$$I = I_0 \frac{1}{1 + 48 \sin^2 \pi \frac{\Delta}{\lambda}}.$$

Dès que $\frac{\Delta}{\lambda}$ diffère d'un nombre entier, la fraction devient très petite, et l'intensité tombe presque à zéro. La *fig.* 5 montre la variation de I en fonction de $\frac{\Delta}{\lambda}$. A une distance du maximum égale à $\frac{1}{10}$ de frange, l'intensité n'est que $\frac{1}{6}$ de sa valeur maximum. La courbe

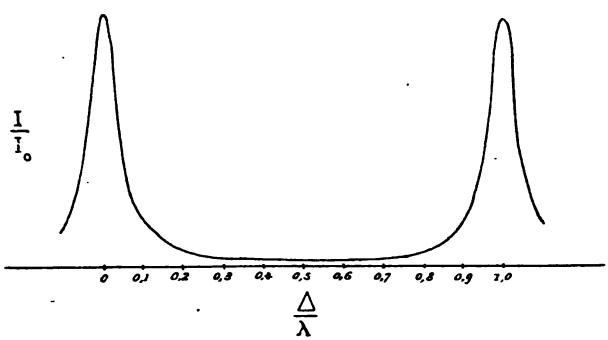


FIG. 5.

montre que la répartition de la lumière est tout à fait différente de ce qu'elle est dans un phénomène d'interférence ordinaire, dans lequel on a seulement deux ondes interférentes ; la courbe d'intensité est alors une sinusoïde, dont les minima sont nuls si les deux ondes ont même intensité. Dans le cas de lames argentées la faible quantité de lumière que laissent passer les deux argentures se répartit,

lorsque l'éclairement est monochromatique, sur des lignes très fines dont l'intensité lumineuse peut être relativement grande.

Lorsque la lumière incidente est composée de plusieurs radiations simples, chacune donne son système de franges, et ces systèmes se juxtaposent sans se fondre à cause de la finesse des franges brillantes. C'est ainsi qu'avec la double radiation jaune du sodium on obtient deux systèmes de franges qui, confondus lorsque l'épaisseur de la lame mince est très faible, se séparent peu à peu à partir de la 80e frange environ. Lorsqu'on arrive à la 500e, la séparation est complète, en sorte que les franges données par la radiation D_1 sont exactement intercalées entre celles que donne D_2. Au delà, les franges tendent à se confondre de nouveau, et la réunion est complète lorsqu'on arrive à la 1000e frange, puis vient un nouveau dédoublement, etc... Les disparitions de franges observées par Fizeau sont remplacées par des dédoublements. Ces dédoublements ont été observés par M. Boulouch [1].

En employant comme lumière celle qu'émet un brûleur contenant à la fois des sels de sodium et de lithium, on obtient les systèmes de franges jaunes et un système de franges rouges. Une coïncidence exacte ou approchée entre une frange jaune et une frange rouge se produit toutes les 8 franges environ. On peut calculer les numéros d'ordre des franges pour lesquelles ce phénomène se produit, en sorte que les franges se trouvent numérotées de 8 en 8. Les coïncidences exactes sont beaucoup plus rares, en sorte que le phénomène permet de déterminer le numéro d'ordre exact de certaines franges, pourvu que l'on ait une valeur approchée de ce numéro.

A part les particularités que nous venons d'expliquer, les franges des lames minces argentées jouissent de toutes les propriétés des franges des lames minces ordinaires; chaque frange dessine une *courbe d'égale épaisseur* de la lame mince, et cette épaisseur croît d'une demi-longueur d'onde d'une frange à la suivante. Les franges sont d'autant plus écartées que les surfaces argentées sont plus près d'être parallèles. Ce sont ces franges en lumière jaune du sodium qui nous ont servi au réglage des plateaux de notre électromètre. Si ces plateaux étaient rigoureusement plans, on verrait les franges disparaître complètement lorsqu'on arriverait au parallélisme parfait. En réalité, ces plateaux ont toujours une très faible courbure. On

---

(1) *Journal de Physique*, 3e série, t. II, p. 316; 1893.

doit amener les franges à avoir le plus grand écartement possible ; elles se présentent alors ordinairement sous la forme d'anneaux très écartés, au nombre de un ou deux sur la surface du disque. La distance des deux plateaux est, par suite, un tout petit peu variable d'un point à un autre. Il est facile de voir que la distance h qui doit figurer dans la formule est alors la *distance moyenne*, c'est-à-dire une distance telle que le cylindre qui a pour base la surface du disque inférieur et pour hauteur h, ait le même volume que le solide réellement compris entre les deux plateaux. Supposons que l'on ait mesuré la distance h_0 des deux plateaux comptée sur la verticale qui passe par le centre du plateau inférieur. La distance moyenne h ne diffère de la distance au centre h_0 que par une très petite correction, et *cette correction ne dépend que de la forme des surfaces*, et non des très petites variations que peut subir l'orientation du plateau supérieur. On peut donc poser :

$$h = h_0 + \varepsilon,$$

et la correction ε pourra être déterminée une fois pour toutes, avant ou après une série d'expériences ; cette correction serait nulle si les surfaces de verre étaient rigoureusement planes.

Pour déterminer cette correction, il suffit de connaître, pour une position arbitrairement choisie du plateau supérieur, la forme du solide contenu entre les deux plateaux. On y arrive en dessinant ou en photographiant les franges produites en lumière monochromatique dans la lame d'air qui sépare les deux surfaces. Ces franges représentent les lignes d'égale épaisseur de cette lame; elles permettent, en se servant du planimètre, de déterminer le volume de ce solide, et par suite son épaisseur moyenne, d'où l'on déduit la correction ε qui restera constante tant que les surfaces ne subiront pas de déformation. Cette correction, exprimée en demi-longueurs d'onde de la raie du sodium, a varié de $-0,03$ à $+0,20$; il faut la déterminer à nouveau chaque fois que l'appareil a été démonté, parce que le disque supérieur, que l'on a pris en verre mince pour diminuer son poids, subit pendant le montage de petites déformations qui ne sont pas toujours les mêmes.

Cette correction ε étant supposée connue, tout revient à déterminer l'épaisseur au centre de la lame d'air qui sépare les deux plateaux. Nous y arrivons par comparaison avec l'*épaisseur de lames étalons*, grâce à l'existence de franges en lumière blanche, qui ont la plus

grande analogie avec celles que Brewster [1], puis M. Meslin [2], ont étudiées dans le cas de lames minces ordinaires, et que nous appellerons *franges de superposition*.

Supposons que l'on éclaire par de la *lumière blanche* le système formé par deux lames argentées parallèles superposées A et A′ ; l'une de ces lames sera supposée d'épaisseur parfaitement uniforme, tandis que l'autre est légèrement prismatique, en sorte que son épaisseur varie d'un point à un autre. La lumière traverse normalement ce système.

Un rayon incident peut, en particulier, donner naissance à deux rayons parcourant les chemins suivants :

1° Traverser directement A et subir deux réflexions dans la lame A′ ;

2° Subir deux réflexions dans la lame A et traverser directement A′.

La différence de marche de ces deux rayons est :

$$2\,(e - e'),$$

e et e' étant les épaisseurs optiques des deux lames au point considéré.

Elle est nulle si $e = e'$. On aura donc une frange blanche qui dessine le lieu des points où les épaisseurs des deux lames sont les mêmes.

Cette frange est bordée de part et d'autre de franges colorées, les lignes d'égale coloration dessinant les lignes d'égale différence d'épaisseur des deux lames.

On remarquera que d'autres couples de rayons concourent à la production du phénomène, car au rayon qui a subi $2m$ réflexions dans A et $2p$ dans A′ on peut associer celui qui a subi $2(m - 1)$ réflexions dans A et $2(p + 1)$ dans A′. Le rayon direct seul reste isolé. Aussi ces franges sont-elles douées d'un vif éclat, et les colorations extrêmement brillantes. La frange centrale blanche se reconnaît toujours avec facilité, et permet de trouver immédiatement les points où les deux lames ont la même épaisseur.

Les franges en lumière blanche n'apparaissent pas seulement lorsque les épaisseurs sont égales, mais aussi toutes les fois que ces

---

(1) Brewster, *Edinb. Trans.*, t. VII, p. 435 ; 1817.
(2) Meslin, *Journal de Physique*, 3e série, t. III, p. 489 ; 1894.

épaisseurs sont entre elles dans un rapport simple. Considérons en effet un rayon qui a subi $2m$ réflexions en A et $2m'$ en A′ et un rayon qui a subi $2p$ réflexions en A et $2p'$ en A′. Leur différence de marche sera :

$$2(p-m)e+2(p'-m')e'.$$

Ces rayons seront concordants, quelle que soit la longueur d'onde, si

$$\frac{e'}{e}=\frac{p-m}{m'-p},$$

Si $\frac{e'}{e}$ est un rapport commensurable, il existe toujours des nombres entiers p, m, p', m', satisfaisant à l'équation précédente. Les rayons que nous avons considérés donnent alors un système d'interférences visible en lumière blanche, dont la frange centrale dessine le lieu des points tels que le rapport $\frac{e'}{e}$ ait une valeur constante simple, caractéristique du système considéré.

On observe facilement les systèmes correspondant à :

$$\frac{e}{e'}=\frac{1}{2},\quad 2,\quad \frac{2}{3}.\quad \frac{3}{2}.\quad \frac{3}{4}.\quad \frac{4}{3}.\ \ldots$$

Toutefois, à mesure que ce rapport devient moins simple, les franges sont plus pâles, parce qu'elles sont dues à l'interférence de rayons qui ont subi un nombre de réflexions de plus en plus grand, et que non seulement le rayon direct, mais encore une partie de la lumière plusieurs fois réfléchie ne peut interférer, et produit de la lumière blanche qui enlève aux teintes leur éclat.

Au lieu de *superposer* simplement les deux lames minces, il revient au même de projeter sur l'une d'elles l'image de l'autre au moyen d'une lentille. Les épaisseurs e, e' seront alors les épaisseurs aux points optiquement superposés des deux lames. Dans tous les cas, la lumière, ayant à traverser quatre couches d'argent, devra être très intense. Nous employons la lumière de l'arc électrique.

C'est sur l'existence de ces franges, en particulier de celles qui correspondent à l'égalité d'épaisseur, que nous avons basé la construction et l'usage de lames-étalons pour la mesure de petites épaisseurs d'air. On conçoit en effet que, si la lame A′ a été préalablement étalonnée, c'est-à-dire si l'on a déterminé son épaisseur aux

différents points, on pourra chercher le point de cette lame où l'épaisseur est égale à l'épaisseur à mesurer, cette égalité d'épaisseur se reconnaissant à ce que la frange blanche passe par le point considéré.

Une *lame-étalon* est constituée par le faible intervalle d'air compris entre deux lames planes de verre argenté, ayant 20 centimètres de long sur 5 de large et 1 centimètre d'épaisseur ; sur l'une des argentures est tracée dans le sens de la longueur une ligne médiane portant une division en millimètres. Les deux lames sont séparées vers leurs extrémités par des feuilles d'étain ou des fils de platine d'épaisseurs un peu différentes, en sorte que la lame d'air qui les sépare a la forme d'un prisme très aigu. Ces lames sont alors réunies au moyen de mastic de Golaz. En lumière monochromatique la lame mince donne une série de franges sensiblement perpendiculaires à la ligne médiane, et au nombre d'une centaine pour chaque lame. Il s'agit d'étalonner une de ces lames, en sorte que l'on connaisse, par un tableau numérique ou une courbe, son épaisseur en chaque point de la graduation. On notera d'abord la position de toutes les franges produites par la lumière jaune du sodium. Le problème sera résolu si l'on détermine le numéro d'ordre de l'une de ces franges. Supposons que, dans la lame actuellement étudiée, ces numéros d'ordre varient entre 105 et 229 par exemple, en sorte que l'épaisseur de cette lame fasse plus que doubler lorsqu'on passe du bout mince au bout épais. On construira une lame auxiliaire dont l'épaisseur en un point repéré, soit, par exemple, de 110 demi-longueurs d'onde de la lumière du sodium. On pourra alors trouver dans la lame-étalon étudiée un point A où l'épaisseur soit égale à celle de la lame auxiliaire au repère, et un point B où l'épaisseur soit double. On déterminera ces points en se servant des franges de superposition. Si l'on se rapporte au tableau qui donne la position des franges en lumière jaune, il est facile de compter le nombre de franges comprises entre A et B. Puisque l'épaisseur en B est double de l'épaisseur en A, le nombre de franges comprises entre ces deux points représente le numéro d'ordre de la frange qui passe en A.

Une erreur d'une ou deux franges dans ce compte n'aurait d'ailleurs aucun inconvénient, pourvu que l'on ait eu soin d'observer les coïncidences des raies du sodium et du lithium, qui se produisent toutes les 8 franges environ.

Une lame étant graduée, la graduation des autres devient facile,

en cherchant par superposition un couple de points de même épaisseur sur les deux lames. Nous avons ainsi construit et étalonné 4 lames, dont les épaisseurs, empiétant les unes sur les autres, vont de 105 à 440 demi-longueurs d'onde du sodium, c'est-à-dire de 32μ à 130μ environ. L'épaisseur en chaque point est sujette à varier avec le temps, mais toujours d'un petit nombre de franges ; on pourra à chaque instant vérifier l'étalonnage au moyen des franges du sodium et du lithium. Il faut éviter d'échauffer irrégulièrement ces lames ; une cuve pleine d'eau est interposée sur le faisceau incident.

C'est au moyen de ces lames que nous avons mesuré l'épaisseur h_0 au centre de la lame d'air de notre électromètre. L'image d'une lame étalon est projetée, grâce aux miroirs inférieurs, sur cette lame mince. La mesure est extrêmement rapide, la lame mince faisant ici l'office d'une règle graduée dont les divisions, distantes de $0^{\mu},3$ environ, peuvent être à chaque instant vérifiées.

Dans ces mesures d'épaisseur on est amené à faire subir à l'épaisseur mesurée une petite correction pour tenir compte de la perte de phase subie par la lumière hors de sa réflexion sur l'argent.

Tout se passe, pour nos argentures, comme si la réflexion se faisait, sans perte de phase, sur une surface comprise entre la surface du verre et celle du métal. C'est la distance de ces surfaces fictives de réflexion que donne la mesure optique, tandis que celle qui doit être introduite dans la formule qui donne le potentiel est la distance des surfaces métalliques.

La correction dépend de l'épaisseur de la couche d'argent ; elle est déterminée directement, lorsque l'appareil est démonté, par une méthode qui ne peut trouver place ici. La correction est de l'ordre du dixième de frange.

Mesure du diamètre du disque. — On a déterminé deux plans tangents à la surface latérale du disque, en serrant contre lui à l'aide du butoir B et d'une règle B′ mobile au moyen de deux caoutchoucs (*fig.* 6), deux lames planes de verres LL′ qu'on a rendues parallèles. Entre la surface du disque et les plans de verre se produisent des franges très fines dont l'observation en lumière blanche permet de s'assurer que les deux surfaces sont en contact.

Entre les deux plans de verre on a placé en E un certain nombre de lames planes, étalons mesurés par M. Macé de Lépinay, ou lames de verre comparées à ces derniers au moyen du sphéromètre de Brunner. L'ensemble de ces lames forme un système dont l'épaisseur est

exactement connue : on évalue, par l'examen des colorations produites, les petites épaisseurs d'air qui peuvent subsister entre les surfaces des étalons. L'épaisseur totale du système est un peu plus faible que le diamètre à mesurer. L'une de ses faces est appliquée contre la lame L ; il ne reste plus qu'à mesurer la petite épaisseur d'air comprise entre la lame L′ et la face adjacente du système des

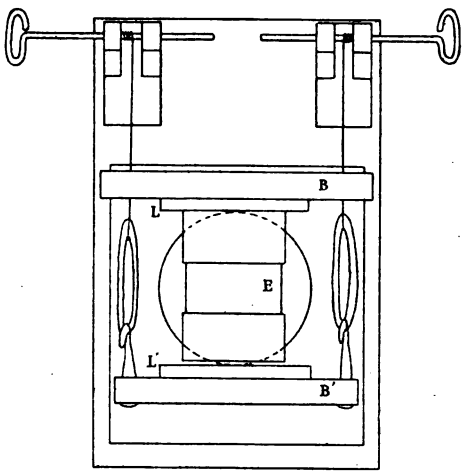


Fig. 6.

étalons E. A cet effet les deux surfaces ont été argentées, et leur distance est mesurée par la méthode déjà décrite au moyen des franges de superposition. Quatre mesures faites sur différents diamètres ont conduit à des résultats différents de leur moyenne d'au plus $1^{\mu},5$, ce qui montre à la fois la précision de la méthode et la perfection avec laquelle M. Jobin a réussi à tailler cette pièce.

Le diamètre ainsi mesuré à 22° est :

$$2R = 5^{cm},9504.$$

Marche d'une expérience. — Il faut avant tout amener les deux plateaux au parallélisme et à une distance convenable. Pour arriver rapidement à ce résultat, nous regardons à travers l'appareil, en utilisant les miroirs placés au-dessus et au-dessous de lui, le filament d'une lampe à incandescence ; le moindre défaut de parallélisme des plateaux se traduit par la production d'une série d'images

du filament dues aux réflexions multiples que subit la lumière sur les deux surfaces argentées. On amène, par la manœuvre des vis calantes, toutes ces images à se confondre avec le filament lui-même. On a alors obtenu un parallélisme assez exact pour qu'en éclairant l'appareil par la lumière du sodium on voie les franges apparaître à coup sûr. L'écartement de ces franges donne un renseignement encore plus précis sur le parallélisme des plateaux ; on continue à agir sur les vis jusqu'à ce que les franges paraissent aussi écartées que possible ; nous ne considérons le réglage comme suffisant que lorsque le nombre des franges visibles sur la surface du disque n'excède pas 2 ou 3. Quant à la distance des surfaces argentées, elle doit être comprise entre 200 et 400 demi-longueurs d'onde du sodium, environ. On est renseigné à peu près sur cette distance par l'aspect du dédoublement produit par la double raie du sodium et aussi par l'apparition vers l'épaisseur 300 $\frac{\lambda}{2}$ de phénomènes de viscosité dans la couche d'air qui sépare les deux plateaux, viscosité qui a pour résultat de rendre très lents les mouvements du disque supérieur, et dont l'effet devient plus prononcé à mesure que l'on diminue l'épaisseur de cette couche d'air.

L'appareil étant ainsi réglé, et la surcharge posée sur le disque supérieur, on projette sur la lame d'air qui sépare les deux plateaux, l'image d'une lame étalon éclairée normalement par le faisceau de lumière blanche provenant d'un arc électrique. En faisant glisser cette lame dans le sens de sa longueur, on ne tarde pas à rencontrer la région où son épaisseur est égale à la distance qui sépare les deux plateaux, ce dont on est averti par l'apparition d'un beau système de franges. Le moindre déplacement du plateau supérieur se traduit par un déplacement de ces franges.

On détermine alors approximativement le potentiel nécessaire pour équilibrer le poids de la surcharge, de telle façon que la substitution de l'une des forces à l'autre laisse les franges à peu près dans le même aspect.

L'appareil étant chargé à ce potentiel, et la surcharge soulevée, on règle l'orientation du plateau inférieur de manière à ce qu'il soit exactement parallèle au plateau supérieur ; ce réglage se fera en employant de nouveau la lumière jaune, et ne fait pas varier sensiblement la distance des plateaux. On met alors l'appareil en court circuit et on pose la surcharge ; en d'autres termes on substitue le

poids de cette dernière à l'attraction électrique. Ces deux forces sont sensiblement égales : si elles étaient appliquées au même point, l'appareil ne subirait aucune modification lorsqu'on substitue l'une à l'autre. En général, il n'en sera pas ainsi, et la substitution du poids à la force électrique produira un léger basculement du plateau supérieur, qui se traduira par une déformation des franges en lumière jaune. On déplace alors la surcharge jusqu'à ce qu'en venant se poser sur le disque elle ramène exactement les franges à l'aspect qu'elles avaient lorsque la force électrique était substituée à son poids. On est sûr alors que les deux forces sont appliquées au même point. L'appareil est complètement réglé.

Après un repos d'une demi-heure on vérifie en lumière jaune le parallélisme des plateaux, puis on remet en place la lame-étalon, qui doit être disposée de manière que sa ligne médiane se projette au centre du disque, qui est marqué par un repère. En faisant glisser la lame-étalon, on amène la frange blanche à passer exactement par ce repère. On détermine alors exactement la différence de potentiel nécessaire pour équilibrer le poids de la surcharge, de telle sorte que la substitution de la force électrique au poids de la surcharge n'entraîne aucune variation dans la position de la frange blanche. On a soin de noter la division de la lame-étalon sur laquelle se trouve cette frange. Immédiatement, et sans toucher à la lame-étalon, on éclaire celle-ci par la lumière d'un chalumeau qui donne les raies du sodium et du lithium, et l'on note la position de toutes les franges du sodium comprises entre deux coïncidences des raies jaunes et rouges. On a alors tout ce qu'il faut pour calculer l'épaisseur en chaque point de l'étalon, et par suite aussi l'épaisseur au centre de la lame d'air qui sépare les deux plateaux de l'électromètre. La différence de potentiel employée est alors calculable en unités C. G. S. électrostatique. Comme, d'autre part, tous les accumulateurs ont été comparés avec la pile-étalon, on en déduit la valeur de celle-ci.

Nous nous sommes servis de deux surcharges, pesant respectivement $0^{gr},046670$ et $0^{gr},097101$. Ces masses ont été déterminées au Bureau international des Poids et Mesures par M. Benoît, auquel nous adressons nos plus sincères remerciements.

Nous avons adopté pour g la valeur $980,54 \frac{cm}{sec^2}$, résultat des mesures parfaitement concordantes faites par le colonel Defforges et par M. Collet à l'Observatoire de Marseille.

Résultats. — Nos mesures nous ont conduits, pour la force électromotrice de la pile Latimer-Clark à 0°, aux nombres suivants :

483,90	483,87	484,51	10^{-5} unités électrostatiques C. G. S.
4,43	5,22	5,34	
4,67	3,90		
4,80	4,69		

dont la moyenne est : $484,51.10^{-5}$ unités électrostatiques, avec une erreur probable de $0,11.10^{-5}$.

M. Limb a mesuré la même force électromotrice en unités électromagnétiques, et a trouvé $1,4535 \times 10^{-8}$ unités électromagnétiques.

La comparaison de ces nombres conduit pour le rapport des unités à

$$V = 299,99.\ 10^{8},$$

avec une erreur probable de $0,07.10^{8}$.

Etudes des cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig ;

Par M. Marage [1].

INTRODUCTION.

Dans ce travail je me suis d'abord proposé de chercher quelle était la caractéristique des voyelles parlées sans aucun instrument; puis j'ai étudié les modifications que font subir au son les cornets acoustiques et enfin j'ai cherché l'appareil qui, tout en augmentant l'intensité des vibrations, leur laissait leur hauteur et leur timbre.

Dans un travail antérieur [2], en me servant comme réactif des flammes manométriques, j'obtins des résultats qui ne concordaient nullement avec ceux que M. Kœnig avait obtenus dans les mêmes conditions.

Comme tous les deux nous nous servions de miroirs tournants, et

---

(1) Séance du 18 juin 1897.

(2) *Note sur un nouveau cornet acoustique servant en même temps de masseur du tympan : appareil présenté à la Société de Biologie le 9 janvier* 1897. Masson, édit.

que nous dessinions l'*image vue*, il n'y avait qu'un seul moyen de trancher le différend, c'était de photographier les flammes.

L'appareil de Kœnig se composait de six parties :

1° Un miroir tournant ; 2° une flamme manométrique ; 3° une capsule manométrique ; 4° un tube ; 5° une embouchure ; 6° un parleur.

Cette note comprendra le même nombre de subdivisions, précédées d'un exposé rapide de la méthode que j'ai employée pour compter le temps.

APPAREILS ET FLAMME CHRONOMÉTRIQUE.

Flamme chronométrique. — Il s'agissait, avant tout, d'avoir un appareil compteur donnant exactement le temps. Pour cela j'employai deux capsules manométriques dont les flammes, situées l'une au-dessous de l'autre, étaient placées dans un même plan vertical parallèle au papier sensible du chronophotographe.

La flamme chronométrique était située un peu à gauche de l'autre et toutes les deux étaient mises au point en même temps.

Un diapason électrique, vibrant au $\frac{1}{54}$ de seconde, communiquait ses vibrations à la flamme par l'intermédiaire d'un tambour de Marey ; les deux capsules étaient contenues dans une boîte rectangulaire en bois, tapissée intérieurement de velours noir et présentant sur une de ses faces latérales une ouverture fermée par une lame de verre ; des orifices permettaient l'entrée et la sortie des gaz, et l'on se trouvait ainsi complètement à l'abri des agitations produites par l'air extérieur.

Le chronophotographe était mû à la main, un volant formé d'une lame circulaire de plomb donnait un mouvement aussi uniforme que possible. A chaque expérience on avait environ $1^m,50$ de papier impressionné dont la vitesse variait entre $1^m,50$ et 2 mètres à la seconde.

Interprétation des flammes. — Si l'on examine les épreuves qu donnent les différentes formes que prend la flamme chronométrique vibrant en $\frac{1}{54}$ de seconde, on voit que, lorsque la vitesse est nulle, la flamme donne sur le papier une image très nette, négative. Si l'on

augmente graduellement la vitesse, on constate qu'à chaque vibration du diapason la flamme est brusquement projetée au dehors, puis elle redescend pour rallumer la flamme suivante.

Si la vitesse s'accroît, la flamme s'incline sur la photographie ; et la partie descendante forme un triangle dont la base est la flamme entière et dont le sommet se trouve au point d'origine de la flamme suivante.

Si la vitesse devient plus considérable, la base de la flamme n'est plus assez photogénique dans sa partie montante et descendante pour impressionner le papier, et les images des différentes flammes sont séparées les unes-des autres.

Nous retrouverons toujours un phénomène analogue dans les flammes vibrant sous l'influence de la parole.

Il faut avoir soin de donner au papier sensible une vitesse telle que les flammes soient séparées les unes des autres, sans cependant être trop éloignées.

Je vais examiner successivement l'influence des différentes parties composant l'appareil de Kœnig.

1° Influence des miroirs tournants. — La masse d'air entraînée agite la flamme, ce qui la déforme complètement.

On peut remédier à cet inconvénient en séparant la flamme des miroirs par une lame de verre verticale ; l'observateur voit alors trois images : les deux premières données par les faces antérieure et postérieure de la lame de verre ; la troisième donnée par le miroir tournant ; et, comme cette dernière est la seule qui se multiplie, les deux autres ne présentent aucun inconvénient ; mais dans ce cas il ne m'a pas encore été possible de photographier l'image vue dans les miroirs.

2° Influence de la flamme. — Le gaz d'éclairage, même chargé de vapeurs d'éther de pétrole ou de benzine, n'étant pas assez photogénique, j'employai l'acétylène qui avait un double avantage :

1° Impressionner fortement le papier ;

2° Vibrer à l'unisson avec le diapason, chose que je n'avais jamais pu obtenir avec le gaz d'éclairage.

Lorsque la flamme ne vibrait pas, elle montait et descendait sous l'influence du diapason en traçant une sorte de sinusoïde ; lorsqu'elle se mettait à chanter, elle donnait les figures décrites plus haut.

3° Influence de la capsule manométrique. — On peut placer dans la capsule soit une membrane de baudruche, soit une mem-

brane de caoutchouc; mais, en faisant les expériences, on voit qu'une membrane en baudruche très peu tendue obéit beaucoup plus aux vibrations de la parole qu'une membrane de caoutchouc. Cette dernière, en effet, revient sur elle-même grâce à son élasticité et elle éteint toutes les têtes de flammes, ce qui leur donne un aspect absolument géométrique.

4° Influence du tube. — Un tube long et étroit ou enlève de la netteté ou semble introduire des flammes nouvelles qui n'existent pas lorsqu'on emploie un tube large et court. Ces flammes se surajoutent aux flammes caractéristiques des voyelles, par conséquent dans toutes les expériences on a toujours employé le même tube gros et court.

5° Influence de l'embouchure. — A) *Sans embouchure.* — On supprime complètement toute embouchure et on prononce successivement chacune des voyelles en donnant autant que possible au son produit la même hauteur.

On constate alors que l'on peut partager les voyelles en trois groupes : dans le premier on placera I, U, OU, caractérisées par une seule flamme.

Dans le second : É et O, caractérisées par deux flammes; et dans le troisième : A, caractérisée par trois flammes.

Ces mêmes voyelles ayant été prononcées sur la même note, chaque vibration étant représentée, non pas par le nombre de flammes absolu, mais par le nombre de groupes (planche IV).

Ainsi I, U, OU, présentent cinq flammes par $\frac{1}{54}$ de seconde; É et O, cinq groupes de deux flammes par $\frac{1}{54}$ de seconde; et A, cinq groupes de trois flammes par $\frac{1}{54}$ de seconde.

Ce qui donne, pour tonalité absolue, 540 vibrations simples, c'est-à-dire une note comprise entre ut_3 (522) et $ut\sharp$ (562).

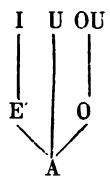


Fig. 1.

Ceci n'a rien d'étonnant, attendu que, pour prononcer I, U, OU, la cavité buccale ne change pas de forme, la langue reste en place, et ce sont les lèvres seules qui font la voyelle ; il en est de même pour É et pour O ; enfin la voyelle A est obtenue d'une façon tout à fait particulière.

Cette classification des voyelles, bien qu'obtenue par une méthode très différente, correspond absolument à la classification d'Helmholtz.

Fig. 2.

Elle correspond en même temps à la classification adoptée généralement par les professeurs de chant et, en particulier, par M. Lefort.

M. Lefort admet, en effet, dans la voix chuchotée, trois voyelles fondamentales, I, U, OU, d'où il fait dériver les autres.

I	U	OU
é	eu	o
in	un	on
è	e	ò
à	â	an

Pour prononcer successivement les voyelles d'une classe, il suffit, la langue restant en place, d'ouvrir la bouche de plus en plus [1].

B) *Embouchure de Kœnig.* — Si l'on prend l'embouchure dont M. Kœnig s'est servi pour faire ses expériences, et si l'on répète les voyelles avec la même tonalité que précédemment, on constate que

---

[1] J'ai comparé les résultats ainsi obtenus, avec ceux que donne la méthode graphique; M. Marey avait fait modifier la plaque vibrante du graphophone de manière à inscrire ses vibrations sur un cylindre tournant recouvert de noir de fumée : en examinant ces courbes au microscope, on peut constater que I, U, OU, donnent chacune une courbe se rapprochant de la sinusoïde, ce que j'appellerai un tracé à une période, correspondant à une flamme.

É et O donnent un tracé à deux périodes ; cependant pour É il semble dans certains cas qu'il y en ait trois (nous en verrons l'explication plus loin); enfin la courbe de A est très nettement formée de trois parties; il y a donc dans ce cas concordance entre la méthode graphique et la méthode de Kœnig ; j'ai, d'ailleurs, le projet de reprendre l'étude de ces tracés.

cette embouchure métallique en forme de cône a introduit des flammes nouvelles qui modifient considérablement la forme et le nombre des flammes (planche V).

I n'est plus caractérisé par une seule flamme, mais par une flamme principale avec deux autres plus petites parallèles.

U conserve une flamme unique, mais OU en a trois parallèles, deux égales se touchant, une plus petite, isolée.

É a quatre flammes indépendantes à leur base, réunies à leur sommet, O en a trois également indépendantes à leur base, réunies à leur sommet. Enfin A, au lieu de trois flammes, en a quatre ; la plus petite étant ajoutée.

Ce sont donc U et A qui sont les moins déformées.

On comprend donc que M. Kœnig, s'étant servi de cette embouchure dans toutes ses expériences, ait toujours trouvé des résultats différents des miens.

C) *Influence du résonateur.* — On remplace maintenant l'embouchure de Kœnig, qui doit être rejetée, par les résonateurs correspondant aux vocables des voyelles

I	OU	É	O	A
$ré_6$	fa_3	$si\flat_5$	$si\flat_3$	$si\flat_4$

OU, d'après Donders.

O, A, E, d'après Kœnig et Helmholtz.

I, d'après Helmholtz [1].

Il est évident que, si ces notes sont les vocables des voyelles correspondantes, la flamme caractéristique de chaque voyelle doit être marquée avec une plus grande netteté ; c'est ce que l'on constate d'une façon très précise pour OU, fa_3 ; pour O $si\flat_3$, A $si\flat_4$.

---

[1] D'après M. Kœnig, les vocables des voyelles seraient

OU	O	A	É	I
$si\flat_2$	$si\flat_3$	$si\flat_4$	$si\flat_5$	$si\flat_6$

En examinant le tableau ci-joint, on voit que :

On n'a qu'une flamme avec $si\flat_2$, mais elle est moins régulière qu'avec fa_3. O et A sont concordants avec $si\flat_3$ et $si\flat_4$.

I n'a qu'une flamme avec $si\flat_6$, mais cette flamme est moins nette qu'avec $ré_6$, cependant elle est unique.

Quant à É, cette voyelle n'a qu'une flamme avec $si\flat_5$, alors que normalement elle devrait en avoir deux : mais, comme je l'ai déjà dit, il y a des quantités de É différents, et, par conséquent, il n'est pas étonnant que les expérimentateurs ne soient pas d'accord sur la vocable de cette voyelle.

É n'a plus qu'une flamme avec *si*$^{\flat}_{5}$, et I conserve une seule flamme avec *ré*$^{\flat}_{6}$.

D) *Recherche de la vocable.* — Puisque I, U, OU appartiennent au même groupe, elles doivent avoir la même vocable, *fa*$_3$; É et O, la même vocable, *si*$^{\flat}_{3}$; A une vocable différente, *si*$^{\flat}_{4}$.

On constate, en effet, que ces voyelles prononcées avec ces trois résonateurs donnent des flammes absolument nettes, claires et précises ; mais est-ce à dire que *si*$^{\flat}_{2}$, *si*$^{\flat}_{3}$, *si*$^{\flat}_{4}$ soient sûrement les vocables des voyelles correspondantes : je ne saurais l'affirmer.

E) *Influence du résonateur sur le nombre des flammes qui se trouvent dans chaque groupe.* — J'ai alors pris successivement comme embouchure les résonateurs que j'avais à ma disposition, et j'ai réuni les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Influence du résonateur sur le nombre des flammes qui se trouvent dans chaque groupe.

	2		3				4			5		6	
	ut$_2$ *fa*$_2$	*si*$^{\flat}_{2}$	*ut*$_3$ *fa*$_3$	*sol*$_3$	*la*$_3$	*si*$^{\flat}_{3}$	*ut*$_4$	*ré*$_4$	*si*$^{\flat}_{4}$	*ut*$_5$ *si*$^{\flat}_{5}$	*ut*$_6$	*ré*$_6$	*si*$^{\flat}_{6}$
I	1 irrégul.	1 irrégul.	I	1			1 irrégul.	1 irrégul.				I	1 large
U	1 irrégul.	1 irrégul.	I										3
OU	1 irrégul.	1 irrégul.	I										3
É	1 irrégul.	1 irrégul.	1	2	2 irrégul.	II	2		3	1		2 épaisses	3
O	1 irrégul.	1 irrégul.	1	2		II		2 irrégul.	3	3		3	3
A	1ou3 irrégul.	1 irrégul.	2	2	2 irrégul.	2 irrégul.	2	3 irrégul.	III	3		3	3
	1 flamme		2 flammes							3 flammes			

Certains résonateurs, tels que *fa*$_2$ et *si*$^{\flat}_{2}$, donnent une seule flamme à toutes les voyelles ; mais ces flammes, au lieu d'être régulières, parallèles, étaient absolument contournées, et je pouvais en conclure que la note correspondant au résonateur ne se trouvait sûrement pas quand on prononçait la voyelle correspondante.

En considérant le tableau, on voit que I a probablement comme vocable fa_3 et $ré_6$ donnée par Helmholtz; U et OU, fa_3 donnée par Donders; O, $si_3^\flat$ donnée par Kœnig et Helmholtz; A, $si_4^\flat$ donnée par les mêmes expérimentateurs.

Quant à É, je suis fort embarrassé.

En effet le résonateur qui m'a donné les flammes les plus régulières est $si_3^\flat$, mais il n'est pas encore parfait; et les résonateurs sol_3, la_3, ut_4 et même $ré_6$, m'ont encore donné deux flammes; je pense que l'on peut trouver une explication qui est la suivante :

Il y a des quantités de É différents : É, È, AI, etc.

Il est probable que chacun d'eux a sa vocable; de plus, É est la seule voyelle que l'on puisse prononcer sans se servir d'aucun résonateur buccal et nasal.

En effet on peut faire prononcer É parfaitement en tenant la langue avec un linge et en appuyant un miroir laryngien sur le voile du palais, de manière à voir les cordes vocales en interrompant le courant d'air passant par le nez.

Dans ce cas É est produit par la vibration des cordes vocales placées au milieu du tube formé en bas par la trachée et en haut par la bouche; dans ce cas il n'y a pas de résonateur, et cet É pourrait bien ne pas avoir de vocable caractéristique.

Influence du résonateur sur la forme des groupes. — En considérant le tableau précédent, on voit que tous les résonateurs compris entre ut_2 et fa_3 tendent à former des groupes d'une flamme; ceux compris entre sol_3 et $ré_4$ donnent des groupes de deux flammes.

Enfin, de $si_4^\flat$ à $si_6^\flat$, presque toujours les flammes se divisent par groupe de trois.

L'embouchure aurait donc plus d'influence que la voyelle sur la forme du groupe.

En effet j'ai prononcé successivement A caractérisée par trois flammes, et O caractérisée par deux flammes avec les résonateurs fa_3, $si_3^\flat$, $si_4^\flat$, $si_5^\flat$, $ré_6$, pris comme embouchure, et l'on voit que: fa_3, vocable probable des voyelles à une flamme, range les flammes de A et de O par groupes de une; $si_3^\flat$, vocable probable des voyelles à deux flammes, groupe par deux les flammes de A et de O; $si_4^\flat$, vocable probable des voyelles à trois flammes, donne trois flammes à O qui n'en a que deux.

$Si_5^\flat$ et $ré_6$ semblent ranger les flammes par groupes de trois, mais je n'ai pu obtenir une vitesse suffisante pour les dissocier.

En résumé, au-dessous de sol_3, quelle que soit la voyelle prononcée, nous avons des groupes de une flamme ; entre si_3 et $si_4^\sharp$ presque exclusivement des groupes de deux, et de $si_4^\sharp$ à $si_6^\sharp$ des groupes de trois ($ré_6$ faisant exception pour I).

On pourrait donc définir, en se plaçant au point de vue des expériences actuelles, la vocable d'une voyelle de la façon suivante : la vocable d'une voyelle est la note correspondant au résonateur qui, pris comme embouchure, donne au groupe de flammes caractéristique de chaque voyelle son maximum de netteté.

Cette note peut ne pas être unique, c'est-à-dire qu'une flamme peut avoir plusieurs vocables.

6° Influence de l'expérimentateur. — Il s'agirait de voir maintenant comment varient les flammes avec la note sur laquelle on prononce les voyelles.

Quelle que soit la note, il semble que la forme du groupe ne varie pas, mais le nombre de groupes augmente avec la hauteur du son.

En effet j'ai prononcé successivement devant la capsule manométrique, sans embouchure, toutes les voyelles en donnant d'abord une note aussi basse, ensuite une note aussi aiguë que possible : chose curieuse, pour I, U, OU, bien que les expériences aient été faites à des moments différents, j'ai obtenu sensiblement la même note basse et la même note aiguë, c'est-à-dire, comme note basse, 432 vibrations correspondant à la_2 (435), et, pour note aiguë, 1188 correspondant à $ré_4$ (1174).

Pour É et O, j'ai obtenu également la même note basse et la même note aiguë, mais différente des deux premières, c'est-à-dire 648 (ut_3, 522), et 726 (sol_3, 780).

Pour A, 540 (ut_3, 522), et 756 (sol_3, 780).

Cette expérience semble donc vérifier encore une fois la classification que j'ai admise.

Quelle que soit la note, les voyelles conservent leur groupe de flammes caractéristique ; mais les images n'ont pas partout la même netteté : I, U, OU sont plus nets dans les notes aiguës.

Les deux flammes de É se séparent et se différencient dans les notes graves.

O et A varient peu.

Ce qui semblerait indiquer que I, U, OU, É se chantent mieux dans les notes aiguës.

O et A conviendraient à toutes les notes.

Quand on change, dans une même expérience et en conservant la même voyelle, une note basse et une note aiguë, on constate que la flamme disparaît presque complètement au moment du changement de note, le nombre des groupes augmente, mais la voyelle conserve toujours sa flamme caractéristique.

Si l'on conserve la même totalité, mais si l'on change la voyelle, on constate qu'il n'y a pas de changement brusque, par exemple si l'on passe de OU à O, on voit peu à peu apparaître, à côté de la flamme unique caractéristique de OU, la seconde flamme caractéristique de O.

Il resterait maintenant à chercher pourquoi I, U, OU sont caractérisés par une seule flamme, E et O par deux, A par trois.

Il faudrait ensuite pouvoir, en groupant deux voyelles à une flamme, obtenir une voyelle à deux flammes, ou bien obtenir A en groupant soit trois voyelles à une flamme, soit deux voyelles, l'une à deux flammes, l'autre à une flamme.

Mais ce sont des expériences qui me semblent fort difficiles et que je n'ai pas encore entreprises.

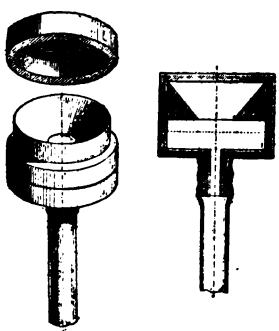


Fig. 3. — Masseur-Cornet, perspective et coupe 1/2 grandeur.

La méthode des flammes manométriques, ainsi modifiée, me semble donc pouvoir rendre des services dans les recherches acoustiques; elle permet d'obtenir des résultats précis, et on peut faire des expériences en ayant une voix quelconque et une oreille aussi peu musicale que possible.

Si on répète les expériences précédentes en prenant comme embouchure un masseur-cornet (*fig.* 3) sans membrane, on voit que I, U, OU sont toujours caractérisés par une flamme, mais É, O, A ont chacun deux petites flammes surajoutées (planche VI).

Si l'on interpose une membrane vibrante, en caoutchouc très mince, on constate que les flammes caractéristiques des voyelles apparaissent immédiatement, sauf pour OU qui semble avoir deux flammes, et pour É qui conserve une troisième flamme toute petite.

Cette embouchure est donc, de toutes celles que nous avons employées, celle qui modifie le moins les flammes de chaque voyelle.

Cet instrument, tout en empêchant le contact direct par l'air entre le parleur et l'auditeur, conserve donc au son une très grande pureté.

Analyse d'une courbe périodique par le procédé de Ludimar Hermann;

Par M. G. Weiss [1].

Herman s'est proposé de retrouver les sinussoïdes constituant une courbe périodique donnée. Cette opération est généralement fort laborieuse; le procédé de Hermann est rapide, très simple et d'une précision très suffisante.

Une courbe périodique peut toujours se représenter par une série de Fourier de la forme

$$y = A_0 + A_1 \cos x + A_2 \cos 2x + \ldots + B_1 \sin x + B_2 \sin 2x + \ldots$$

L'association de deux termes de même rang en cos et sin, par exemple $A_n \cos nx + B_n \sin nx$, représente la sinussoïde de longueur d'onde n fois plus petite que la longueur d'onde de la courbe périodique donnée.

L'ordonné maxima de la sinussoïde est donnée par $C_n = \sqrt[2]{A_n^2 + B_n^2}$, et la phase par $y = \text{arc tg} \frac{A_n}{B_n}$.

Dans le cas particulier de la phase nulle, la sinussoïde correspondante se réduit au terme en sin.

Enfin l'énergie correspondant à chaque sinussoïde dans un temps déterminé est donnée par

$$\begin{aligned} e_1 &= C_1^2 \\ e_2 &= 4C_2^2 \\ e_3 &= 9C_3^2 \\ &\ldots\ldots \\ e_n &= n^2 C_n^2. \end{aligned}$$

---

(1) Séance du 18 juin 1897.

Le problème sera donc complètement résolu par la détermination des coefficients A et B.

Supposons que le terme tout connu A_0 soit nul, cela revient à déplacer l'axe des x; dans la plupart des cas cela n'aura aucun intérêt. Si cependant on désirait connaître A_0, ayant toutes les autres valeurs A_n et B_n, il suffirait de mesurer sur la courbe une valeur particulière de y, par exemple celle qui correspond à $x = 0$, et de tirer A_0 de la formule.

Le procédé de Hermann donne les 20 premières valeurs de A et B.

Voici le manuel opératoire.

On marque sur la courbe à étudier les deux extrémités d'une période, et l'on mesure dans cet intervalle quarante ordonnées équidistantes, la première étant l'ordonnée à l'origine qui se retrouverait comme quarante et unième ordonnée. L'axe des x choisi doit être tel que toutes les ordonnées soient positives.

On inscrit toutes ces ordonnées dans une même colonne à la suite les unes des autres sur un papier quadrillé.

Dans une table dressée par Hermann on cherche les produits de chaque ordonnée par cos 9°, cos 18°, etc., cos 90°, l'angle variant de 9° en 9°.

On inscrit ces produits à la suite les uns des autres dans la ligne de l'ordonnée correspondante, chaque produit occupant un carré. On a ainsi un tableau comprenant quarante lignes et onze colonnes.

Sur ce tableau on applique successivement une série de papiers fenêtrés, et l'on fait la somme algébrique des nombres qui apparaissent dans les fenêtres. Ces fenêtres portent le signe + ou le signe —, suivant que le terme correspondant est additif ou soustractif.

Pour chaque coefficient A_n il y a un papier spécial; en le retournant on a le B_n de même rang de la série de Fourier.

Les opérations se font très vite, car le tableau de Hermann donnant les valeurs de $y \cos x$ ne comporte pas de décimales; les plus forts nombres sont de trois chiffres.

Pour me rendre compte du degré d'approximation que l'on obtient ainsi, j'ai fait la synthèse d'une courbe périodique, composant les sinussoïdes de période 1, 2, 3, 4, 8, 12, 16, 20. Puis j'ai cherché, en appliquant la méthode de Hermann, à extraire de cette courbe périodique les sinussoïdes introduites.

Voici les résultats obtenus :

Rang de la sinussoïde	Ordonnée introduite	Ordonnée extraite
1	100	99,1
2	52	52,7
3	34,5	34,2
4	27,5	27,4
8	34,5	34,4
12	11	11,0
16	21	21,4
20	11	

Je n'ai pu extraire la dernière sinussoïde, n'ayant pas le papier fenêtré correspondant.

L'ordonnée extraite comporte des décimales, parce qu'il faut diviser par 20 le nombre trouvé après addition algébrique des divers termes. J'ai déjà dit que ces termes ne comportent pas de décimales; ils sont, par suite, entachés d'une erreur assez considérable, et il y a lieu de se demander comment il se fait que le résultat ne soit pas plus défectueux. Mais il faut remarquer que ce terme comprend vingt termes additifs et vingt termes soustractifs, tous entachés d'une erreur de même sens; l'erreur probable totale est donc relativement petite.

Voyons maintenant comment s'explique la méthode de Hermann.

Considérons une courbe périodique représentée par la série de Fourier

$$y = A_1 \cos x + A_2 \cos 2x + \ldots + B_1 \sin x + B_2 \sin 2x + \ldots$$

en nous limitant au vingtième terme en cos ou en sin. Si dans une période nous mesurons quarante ordonnées équidistantes, elles correspondent à des augmentations de la variable égales à $\frac{360^\circ}{40} = 9^\circ$; par conséquent tous les coefficients A et B sont multipliés par un terme

$$\pm \cos 0^\circ \pm \cos 9^\circ \pm \cos 27^\circ \pm \ldots \pm \cos 90^\circ$$
$$\pm \sin 0^\circ \pm \sin 9^\circ \pm \sin 27^\circ \pm \ldots \pm \sin 90^\circ.$$

Les termes de la deuxième ligne se retrouvent tous dans la première; par conséquent on ne trouve, comme coefficients de A et de B, que 10 valeurs différentes.

Si l'on mesurait quarante ordonnées quelconques, en portant les

valeurs de x et de y correspondants dans la série de Fourier, on aurait quarante équations du premier degré à quarante inconnues à résoudre; ce serait pour chaque détermination une opération des plus laborieuses. Grâce au choix particulier des ordonnées mesurées les choses vont se simplifier beaucoup.

Multiplions les quarante équations obtenues à l'aide des ordonnées mesurées par des coefficients indéterminés a, b, c, d, ..., et ajoutons-les. Posons ensuite comme conditions que tous les coefficients de A_1A_2, ..., B_1B_2 ..., s'annulent, sauf celui que nous voulons déterminer.

Nous aurons trente-neuf équations à satisfaire, la quarantième étant :

$$ay_1 + by_2 + \ldots = A_nM.$$

M n'étant pas nul, cette équation donnera la valeur de A_n.

En opérant de la sorte, on trouve que a, b, c, ..., sont des valeurs cos 0°, cos 9°, cos 18°, ...; les valeurs à ajouter, ay, by, cy, ..., se trouvent donc toutes dans le tableau de 11 colonnes et 40 lignes dressées à l'aide des ordonnées mesurées et de la table de Hermann; et nous pouvons pour A_n faire un papier fenêtré qui les mette en évidence.

La valeur trouvée de M est 20.

En répétant la même opération pour tous les coefficients A et B, on aura à sa disposition les papiers fenêtrés s'appliquant à un cas particulier quelconque.

Ce calcul est extrêmement laborieux; Hermann l'a fait une fois pour toutes et a construit les papiers fenêtres pour les 20 premières sinussoïdes.

Sur la constitution des alliages eutectiques;

Par M. G. Charpy.

Au cours d'une série de recherches sur la constitution des alliages métalliques, d'après l'étude micrographique de ces substances [1], nous avons eu à examiner spécialement le cas des alliages *eutectiques* ou alliages *à point de fusion minimum*.

---

[1] *Étude microscopique des alliages métalliques* (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, mars 1896).

On a longtemps admis que le mélange de deux corps, dans des proportions telles que le point de fusion soit inférieur à celui de tous les autres mélanges des mêmes corps, correspondait à un composé défini.

Cette idée préconçue semble même avoir conduit certains expérimentateurs à admettre des résultats inexacts en ce qui concerne la composition de ces alliages. C'est ainsi que Rudberg indique que le mélange d'étain et de bismuth le plus fusible est celui qui correspond à la formule Sn^3Bi^2, et se liquéfie à 143°; en réalité, d'après Guthrie, l'alliage le plus fusible d'étain et de bismuth fond à 133° ; il contient 46,1 0/0 de bismuth au lieu de 45,74 qu'indiquerait la formule Sn^3Bi^2.

Le fait que la composition des alliages eutectiques ne peut s'exprimer, en général, par des multiples simples des poids atomiques, a été nettement mis en évidence par le Dr Guthrie dans une série de mémoires publiés, par le *Philosophical Magazine*, de 1875 à 1884. M. Guthrie a envisagé successivement la solidification des solutions salines dans l'eau, des mélanges de sels fondus et des alliages métalliques, et il conclut que, dans ces trois cas, le corps qui se solidifie à la température la plus basse a une constitution spéciale pour laquelle il propose la dénomination d'eutectique.

Nous citerons ici quelques passages de son dernier mémoire intitulé: *On Eutexia* (*Philosophical Magazine*, juin 1884) :

« Les alliages eutectiques, dont beaucoup étaient imparfaitement connus et les alliages eutectiques des sels, que je décrirai, sont les homologues parfaits des cryohydrates.

« L'idée que les alliages à point de fusion minimum sont obtenus en mélangeant les métaux suivant des multiples simples de leurs poids atomiques doit vraisemblablement être mise de côté. De même que le cryohydrate se forme de lui-même quand on refroidit une solution de concentration quelconque, de même l'alliage eutectique se forme de lui-même quand on refroidit un alliage de composition quelconque.

« On peut admettre que certains métaux se combinent suivant des multiples simples de leurs poids atomiques. Les alliages eutectiques présentent, par rapport à ces corps, la même relation que les cryohydrates par rapport aux hydrates ordinaires, et, comme pour les cryohydrates, leurs constituants ne sont pas dans la proportion des multiples simples de leurs poids atomiques ; mais leur composition

n'en est pas moins bien fixée, ni leurs propriétés moins bien définies.

« De même qu'un sel peut s'unir avec l'eau qu'il fixe à l'état d'eau de cristallisation et s'unir aussi pour former un cryohydrate, de même deux métaux peuvent se combiner suivant une certaine proportion pendant qu'ils forment un alliage eutectique défini suivant une autre proportion. Les corps mêmes résultant de la combinaison chimique de deux métaux pourront probablement former le point de départ de nouvelles séries d'alliages eutectiques formés d'un métal simple, d'une part, et de l'alliage défini, d'autre part. »

Lorsque deux métaux peuvent se mélanger en toutes proportions, on est donc conduit à considérer quelques-uns de ces alliages comme plus particulièrement définis ; les uns, véritables combinaisons chimiques, formés avec dégagement de chaleur par l'union de multiples simples des poids atomiques; les autres, formant la partie qui se solidifie la dernière quand on laisse refroidir un alliage quelconque, présentent une composition parfaitement constante, mais qui n'est pas, en général, exprimable par une formule simple. Ces corps-là sont comparables aux mélanges qui distillent avec une composition constante (mélanges d'acide chlorhydrique et d'eau, mélanges d'alcool et d'eau, etc.), ce qui, comme l'a montré M. Berthelot, n'implique nullement le caractère de composé défini.

Quelle est donc la composition de ces mélanges eutectiques? Sont-ce des combinaisons chimiques d'une nature particulière ou bien des mélanges homogènes, sortes de dissolutions solides comparables aux verres, ou enfin de simples mélanges hétérogènes dans lesquels les deux corps sont juxtaposés dans un état de division extrême? Diverses recherches ont été effectuées pour élucider cette question. M. Offer, par des expériences décrites dans les *Berichte* de l'Académie de Vienne, en 1880, montra que les cryohydrates, c'est-à-dire les mélanges eutectiques des solutions salines ne forment jamais de cristaux bien nets et transparents, mais des masses opaques; que l'alcool dissout la glace et laisse un réseau cristallin de sel solide; que la chaleur de dissolution d'un cryohydrate est la somme des chaleurs de dissolution de la glace et du sel; enfin que le poids spécifique est égal à la moyenne de ceux des constituants.

En 1895, M. Ponsot a étudié au microscope la formation des cryohydrates ou cryosels [1].

---

[1] *Recherches sur la congélation des solutions aqueuses étendues.* Thèse de doctorat, Paris, Gauthier-Villars, 1896.

En employant des sels colorés ou utilisant les phénomènes de polarisation, il a pu constater que les cryohydrates étaient formés par des cristaux juxtaposés de glace pure et de sel solide, ce sel pouvant d'ailleurs être anhydre ou hydraté.

Les expériences de M. Offer et de M. Ponsot semblent démontrer nettement que les mélanges eutectiques sont des mélanges hétérogènes. Cependant, dans un mémoire tout récent, M. Flavitsky n'adopte pas cette conclusion [1].

« On a souvent, dit-il, attribué la production des cryohydrates à des forces purement physiques ; mais l'étude attentive de la formation de ces composés nous démontre que c'est un phénomène chimique. Les propriétés des corps réagissants ont été modifiées, les deux matières solides passent à l'état liquide et prennent une température bien déterminée, indépendante de leur température initiale. Ceci ne s'explique que par la formation d'un nouveau corps fusible à une température determinée. »

Ceci s'explique fort bien, au contraire, si l'on considère les cryohydrates comme résultant de la solidification d'une solution qui est en équilibre à la fois avec le sel solide et avec la glace pure. Les arguments de M. Flavitsky ne nous semblent donc pas contredire les faits observés par M. Ponsot.

L'étude microscopique des alliages eutectiques des métaux nous a donné des résultats identiques à ceux que l'étude microscopique des cryohydrates avait fournis à M. Ponsot. Considérons, par exemple, l'alliage eutectique d'étain et de bismuth. On a préparé 200 grammes environ de cet alliage en fondant ensemble de l'étain et du bismuth dans la proportion indiquée par M. Guthrie, soit 46,1 de bismuth pour 53,9 d'étain. On amène cet alliage à l'état liquide et on le laisse refroidir lentement. Quand la majeure partie est solidifiée, on décante la partie restée liquide qui possède alors exactement la composition de l'alliage eutectique. Cette partie décantée sert, après solidification, à l'examen de la structure.

L'examen d'une plaquette polie et décapée à l'acide chlorhydrique très étendu, qui ne dissout que l'étain, montre que les deux métaux sont simplement juxtaposés ; les cristaux sont excessivement ténus et ne se distinguent nettement qu'avec d'assez forts grossissements.

---

[1] *Journal de la Société physico-chimique russe*, 1896 : « Sur la nature des cryohydrates ».

La *fig.* 1 reproduit la photographie d'une de ces plaquettes au grossissement de 500 diamètres ; les parties blanches correspondent au bismuth, les parties noires à l'étain, qui a été creusé par l'acide.

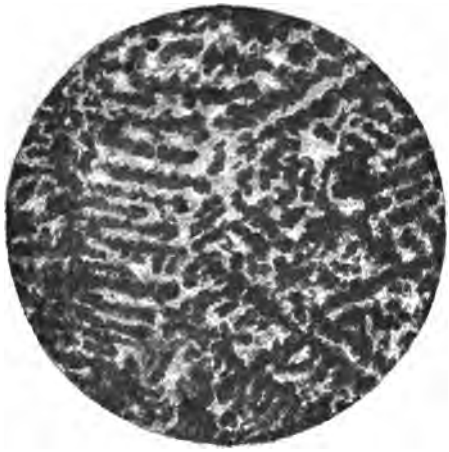


Fig. 1.

Cette structure, très finement feuilletée, semble caractéristique des alliages eutectiques. Nous l'avons retrouvée dans tous ceux que nous

Fig. 2.

avons examinés ; elle est parfaitement visible dans les portions d'alliage eutectique qui se solidifient dans un alliage quelconque, englobant des cristaux d'un métal pur ou d'un composé défini. La *fig.* 2

reproduit la photographie, au grossissement de 500 diamètres, d'un alliage contenant 66 0/0 d'argent et 34 0/0 d'antimoine. La plaquette

Fig. 3.

a été traitée par l'acide sulfhydrique, qui noircit l'argent et ne modifie pas l'antimoine. On voit sur cette figure un certain nombre d'arêtes

Fig. 4.

rectilignes auxquelles viennent aboutir des ramifications et qui dessinent des groupements rappelant les formes cristallines de l'antimoine. Ce fait se reproduit assez fréquemment.

Dans un grand nombre d'autres alliages nous avons observé la même structure de l'alliage eutectique.

A de plus faibles grossissements le dédoublement de l'alliage eutectique peut ne pas être distinct, et l'on perçoit alors seulement les parties solidifiées les premières et qui forment des cristaux de plus grandes dimensions. Les *fig.* 3 et 4 reproduisent l'aspect d'alliages d'étain et de bismuth contenant l'un 20 0/0 de bismuth, l'autre 60 0/0 de bismuth, au grossissement de 50 diamètres. Les plaquettes ont été lavées à l'acide chlorhydrique étendu qui ne dissout pas le bismuth.

Dans le premier il s'est produit une cristallisation d'étain, sous formes d'aiguilles à ramifications dendritiques qui paraissent en noir sur la *fig.* 3. Les parties blanches correspondent à l'alliage eutectique; au grossissement employé on n'aperçoit pas le dédoublement de cet alliage, qui a cependant la structure indiquée par la *fig.* 1.

Dans le deuxième alliage le mélange eutectique, plus riche en étain, s'est attaqué le premier et paraît en noir sur la *fig.* 4, laissant voir, en blanc, de larges tables de bismuth qui ont cristallisé au sein du mélange liquide. Ici encore, l'emploi de forts grossissements révèle, dans les parties noires de la *fig.* 4, l'existence de la structure feuilletée des *fig.* 1 et 2.

Les alliages eutectiques, dont la composition est parfaitement déterminée, se présentent donc, à l'état solide, sous forme de simples mélanges de leurs constituants. L'état de division extrême de ces constituants suffit à leur donner des propriétés particulières; on conçoit; en particulier, pourquoi, dans un grand nombre de cas, ils présentent une cassure conchoïdale qui conduit, à première vue, à les considérer comme des corps homogènes.

Alliages de fer et de carbone. — La microstructure des alliages de fer et de carbone, particulièrement des aciers, a fait l'objet d'un nombre de recherches considérable, depuis le jour où le Dr Sorby créa la métallographie microscopique en l'appliquant à l'étude de ces métaux. Il peut être intéressant néanmoins de rapprocher quelques-uns des faits acquis de ceux qui viennent d'être signalés.

Si l'on rapproche les travaux les plus récents sur la question, dus à MM. Osmond, Arnold et Albert Sauveur, on voit que l'accord est à peu près fait sur la nature des constituants de l'acier à l'état normal, c'est-à-dire refroidi assez lentement, à partir d'une température

élevée, pour que les diverses transformations du fer et du carbone puissent se produire complètement. Les constituants sont au nombre de trois, si on laisse de côté le graphite, qui n'apparaît que dans des circonstances particulières et les formes de transition qui ne sont pas, à proprement parler, des constituants. Ce sont :

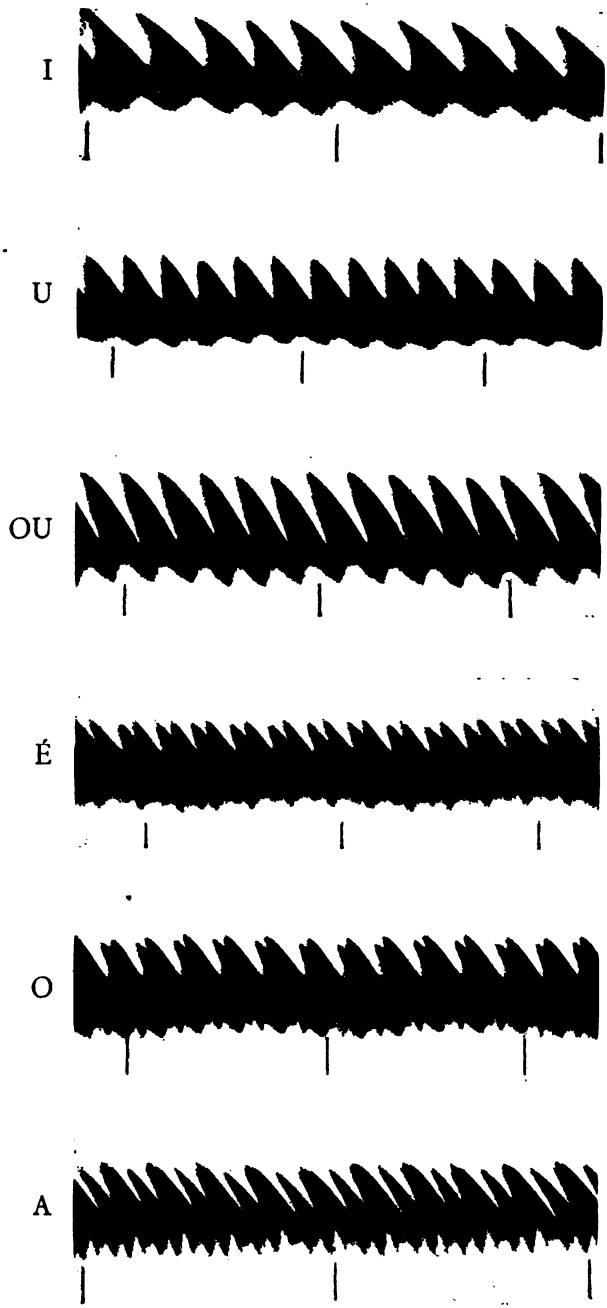
1° La ferrite, formée de fer à peu près pur ;

2° La cémentite, carbure de fer répondant à la formule Fe^3C ;

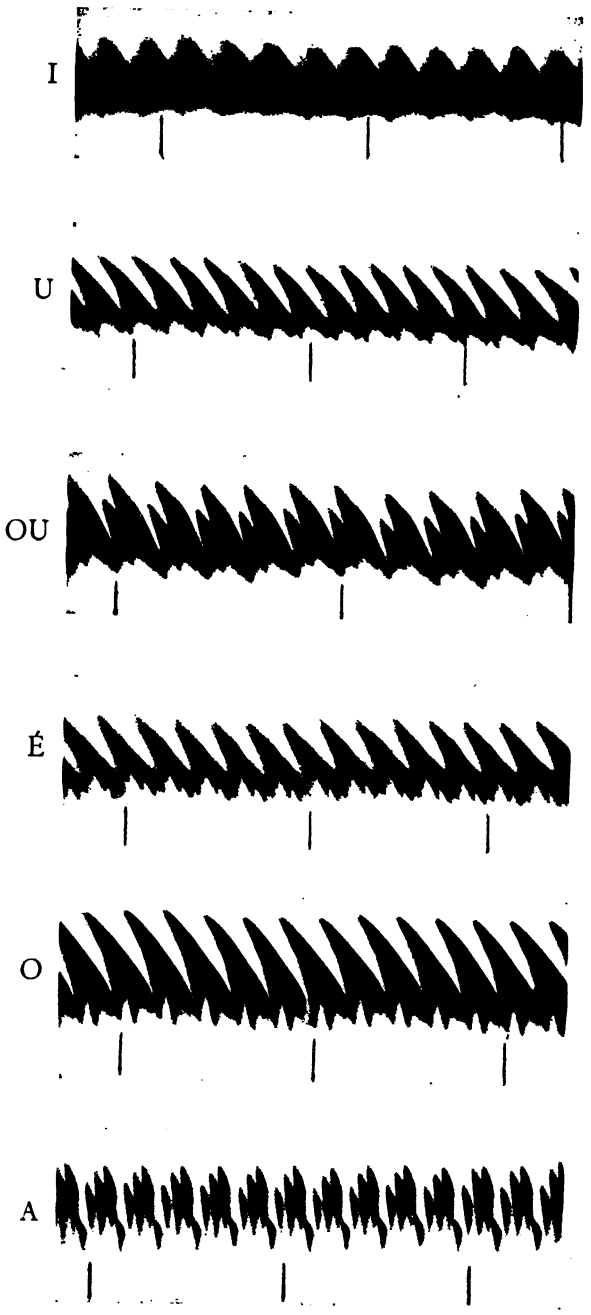
3° La perlite, constituant répondant à la formule $Fe^{24}C$, soit 0,89 0/0 de carbone, mais que l'examen microscopique montre formée de couches alternées de ferrite et de cémentite.

Les aciers contenant moins de 0,89 0/0 de carbone sont formés de ferrite et de perlite; les aciers contenant plus de 0,89 0/0 de carbone sont formés de perlite et de cémentite.

Si l'on remarque que la perlite a une constitution identique à celle des alliages eutectiques, formés, eux aussi, de couches alternées de deux constituants différents, on voit qu'il y a une analogie frappante entre la constitution des aciers et celle des alliages d'étain et de bismuth, par exemple ; les aciers, sont formés avec le fer et le carbure de fer, comme ces alliages avec l'étain et le bismuth, la perlite correspondant à l'alliage eutectique. La seule conclusion que nous voulions tirer de là est qu'il n'y a aucune raison pour considérer l'alliage à 0,89 0/0 de carbone comme un composé défini, ainsi que l'a proposé récemment M. Arnold. Toutes les propriétés invoquées dans ce but se retrouvent dans les alliages formés par de simples mélanges, quand on passe par l'alliage eutectique qui constitue un point critique pour toutes les propriétés, mais qui n'est nullement, pour cela, un composé défini, ainsi que cela résulte des différents travaux énumérés plus haut.



Voyelles prononcées sans aucune embouchure.
(1/54 de seconde).



Voyelles prononcées avec l'embouchure de Kœnig.
(1/54 de seconde).

Application des phénomènes d'interférence à des déterminations métrologiques ;

Par M. René Benoît [1].

On a besoin, en métrologie, d'une petite longueur de valeur connue, pour faire la *tare*, c'est-à-dire pour déterminer la valeur d'une révolution de la vis ou d'une division du tambour, des micromètres employés aux mesures. On se sert le plus souvent, à cet effet, d'un étalon millimétrique, dont les deux traits limitatifs sont contenus simultanément dans le champ du microscope, au moins avec les grossissements modérés (jusqu'à 100 fois environ) qui sont généralement en usage aujourd'hui. Il est important que cet étalon soit exact; car l'erreur dont il est affecté subsiste entière, sans compensation possible, dans les résultats de toutes les mesures auxquelles il doit servir de point de départ, et peut, dans certains cas, altérer ces résultats de quantités notablement supérieures aux simples erreurs d'observation. D'autre part, ce n'est pas sans quelque difficulté qu'on se procure un étalon millimétrique exact, c'est-à-dire dont la longueur soit rigoureusement la millième partie de celle du Mètre prototype international à 0°, laquelle représente actuellement l'unité fondamentale du Système métrique, ou du moins un étalon dont la longueur ait avec cette unité un rapport exactement connu. On sait que les meilleures divisions ont des irrégularités : divers millimètres, pris sur une même échelle, peuvent différer de quantités très appréciables et déjà importantes pour l'objet dont il s'agit; toute longueur tracée sur une règle métallique est d'ailleurs fonction de sa température, et c'est aussi un élément dont il y a lieu de tenir compte.

Pour se procurer un étalon millimétrique, il faut faire l'*étalonnage* d'une division, c'est-à-dire déterminer les erreurs de division d'une échelle. Cette détermination se fait par des comparaisons successives, qui doivent être conduites suivant une marche systématique, propre à assurer, autant que possible, la compensation des erreurs, et à fournir des contrôles et des vérifications suffisants. Etant donné, par exemple,

---

[1] Séance du 21 mai 1897.

un mètre divisé en millimètres dans toute sa longueur, on compare, entre eux, au moyen d'un comparateur universel, d'abord tous les décimètres, de 100 en 100 divisions, puis tous les doubles décimètres, les triples décimètres, etc., de l'échelle ; les décimètres sont alors connus par rapport à l'échelle entière. On opère ensuite de même sur la division en centimètres, doubles centimètres, ... de l'un de ces décimètres ; puis sur la subdivision en millimètres, doubles millimètres, ... de l'un des centimètres précédents. Ce travail, tout à fait analogue à celui qui constitue le calibrage d'un thermomètre de précision ou l'étude des corrections d'un cercle divisé, conduit finalement à connaître les valeurs exactes d'un certain nombre de millimètres de l'échelle, rapportées à la longueur entière de celle-ci. Il faut encore comparer cette dernière elle-même à un étalon connu en fonction du Prototype fondamental, et enfin mesurer sa dilatation, pour avoir réuni tous les éléments nécessaires du problème.

C'est là un travail extrêmement long, et dont les résultats ne peuvent pas toujours être considérés comme ayant une valeur indéfinie. Lorsqu'une règle divisée a servi à de nombreuses expériences, a été plongée à diverses reprises dans des bains à diverses températures, et a dû subir un certain nombre de nettoyages — comme cela arrive inévitablement, en particulier pour des divisions tracées sur argent — il peut se faire que, malgré tous les soins et toutes les précautions, les traits deviennent légèrement usés et arrondis sur leurs bords, perdent de leur netteté, se présentent sous les microscopes avec un aspect un peu différent, aient leur axe sensiblement déplacé ; dès lors une partie de l'exactitude de l'étalonnage primitif se trouve perdue. Ayant eu récemment l'occasion d'avoir des doutes de ce genre à propos d'une *Règle normale* du Bureau international des Poids et Mesures, et ayant été amené à contrôler les résultats d'un étalonnage très soigné, mais déjà ancien d'une quinzaine d'années, de la division de cette règle, je me suis proposé de faire cette vérification, non pas au moyen d'un nouvel étalonnage, mais au moyen des longueurs d'ondes du cadmium déterminées par M. Michelson, et en appliquant les mêmes procédés qui lui ont servi à établir, il y a quelques années, avec la collaboration du Bureau international, le rapport de l'unité métrique à ces longueurs d'ondes. Les méthodes si ingénieuses, imaginées par l'éminent physicien américain pour comparer le mètre à la longueur d'onde, pouvaient en effet, évidemment, *a fortiori*, permettre de comparer à la longueur

d'onde, maintenant connue, de petites subdivisions du mètre, c'est-à-dire d'établir des étalons exacts, par exemple, du millimètre et du centimètre, directement et sans passer par le long travail d'un étalonnage. Je rendrai compte très brièvement des opérations que j'ai faites dans ce but.

Je rappelle d'abord la disposition générale de l'appareil d'interférence de M. Michelson, qui a servi à ces déterminations. Le principe est figuré dans le diagramme ci-dessous (1) (*fig.* 1).

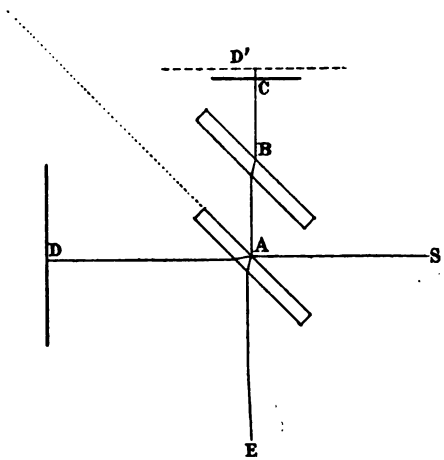


Fig. 1.

Une source lumineuse étendue S envoie ses rayons dans la direction SA sur une glace plane parallèle, inclinée à 45°, dont la première surface a reçu une couche transparente d'argenture. La lumière s'y divise en deux faisceaux : l'un est transmis jusqu'au miroir plan D, l'autre réfléchi vers le miroir plan C. Ces miroirs renvoient la lumière en A, où le premier faisceau est réfléchi et le deuxième transmis, de sorte qu'ils reviennent superposés en E, à l'œil de l'observateur, nu ou armé d'une lunette. Une seconde lame plane parallèle B, dite *compensateur*, de même épaisseur que la première, est nécessaire pour égaliser les chemins parcourus par les deux faisceaux. Des considérations élémentaires montrent que ce dispositif est équivalent à une lame d'air, qui serait comprise entre la glace C, par exemple,

(1) Voir, pour plus de détails, *Séances de la Société Franç. de Phys.*, année 1893, p. 155; 1894; — et surtout *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*, t. XI.

et l'image de la glace D par rapport à la surface A ; cette image serait en D′, et M. Michelson l'a désignée sous le nom de *plan de référence*. Les miroirs D, C peuvent se déplacer perpendiculairement à leur plan, le long de coulisses rectilignes ; chacun d'eux est muni, en outre, d'organes de rectification, qui permettent de les faire pivoter à volonté, soit autour d'un axe vertical, soit autour d'un axe horizontal, et par conséquent de les régler exactement dans toute situation requise. Suivant les positions respectives qu'on donne aux miroirs C, D, on peut, ou bien faire coïncider exactement les deux surfaces C, D′ l'une avec l'autre dans toute leur étendue; ou bien établir entre elles une distance positive ou négative, tout en les maintenant parallèles ; ou bien encore, en les inclinant légèrement l'une sur l'autre, les faire coïncider par une ligne d'intersection que l'on peut superposer à une ligne de repère fournie par un quadrillage tracé sur l'une d'elles, les distances entre les deux plans allant alors en croissant symétriquement, suivant un petit angle, de part et d'autre de cette ligne.

Les phénomènes d'interférence obtenus avec ce dispositif, assimilables à ceux des lames de l'appareil classique de Newton ou des appareils bien connus de Fizeau et de Desains, peuvent se présenter avec des apparences et des formes variées, et se localiser dans des plans différents, suivant les positions et les directions respectives des surfaces C, D. Deux cas seulement sont utilisés pour les mesures dont il s'agit ici. L'un est celui, dont j'ai parlé en dernier lieu, où les surfaces C, D′ se coupent en faisant un très petit angle l'une avec l'autre. Dans ce cas on obtient, avec une source de lumière blanche, des franges colorées comme les anneaux de Newton. Si toutes les surfaces sont bien planes, ces franges affectent la forme de bandes rectilignes, parallèles, symétriques par rapport à une frange centrale achromatique qui correspond à la ligne d'intersection. On les espace à volonté en réglant l'inclinaison relative des surfaces. Ces franges sont donc caractéristiques du contact optique entre le plan de référence D′ et le miroir C, et peuvent servir de guide pour établir rigoureusement ce contact suivant une ligne déterminée. Elles sont localisées dans le plan de ces surfaces.

Le deuxième cas est celui dans lequel les deux surfaces C, D′ sont parallèles et séparées l'une de l'autre par une distance plus ou moins grande. Les franges ne peuvent alors être obtenues qu'avec une source monochromatique. Elles se présentent sous la forme

d'anneaux concentriques, de plus en plus petits et serrés à mesure qu'on augmente la distance des surfaces. Elles sont à l'infini, et par conséquent observables avec une lunette réglée à l'infini.

Pour utiliser ces phénomènes au problème que je m'étais proposé, j'ai fait construire de petites réglettes en nickel, portant, en traits très fins (de 2 μ à 4 μ de largeur) tracés au diamant sur une surface polie spéculairement, 1 centimètre subdivisé en millimètres; c'étaient les étalons qu'il s'agissait de déterminer. D'autre part, j'ai fait construire une pièce que j'appellerai un *étalon Michelson*, parce qu'elle reproduit, en effet, à quelques détails de construction près, la disposition des *étalons intermédiaires* dont s'était servi M. Michelson pour passer de la longueur d'onde au mètre (*fig.* 2). C'est un barreau

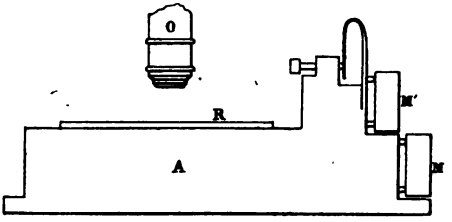


Fig. 2.

de bronze A, de 12 centimètres environ de longueur, de 2 centimètres en carré, portant vers son extrémité antérieure deux glaces planes, M, M', disposées en escalier l'une au-dessus et en arrière de l'autre, et dont les surfaces ont été réglées très exactement parallèles et à une distance l'une de l'autre à très peu près égale à 1 millimètre (très exagérée sur la figure). Les moyens qui permettent d'arriver dans ces réglages à une perfection presque indéfinie ont été décrits par M. Michelson et appliqués ici. Un second étalon Michelson a été construit, exactement semblable, sauf que la distance entre les deux glaces était, pour celui-ci, de 1 centimètre.

Les opérations à faire pour établir un étalon du millimètre ou du centimètre consistent : 1° à mesurer directement en longueurs d'ondes des radiations du cadmium la distance exacte des deux plans de l'étalon Michelson; 2° à comparer cette distance à la distance des deux traits limitatifs de l'intervalle à étudier. Ces opérations sont les mêmes qui ont été faites à propos du mètre. Mais maintenant

une simplification considérable est immédiatement possible, en utilisant les résultats du premier travail. Dans celui-ci il avait fallu commencer par compter le nombre de longueurs d'ondes comprises entre les deux glaces d'un petit étalon qui avait servi de point de départ, c'est-à-dire pratiquement le nombre de franges qui passaient dans le champ de la lunette, quand on déplaçait progressivement cet étalon sur sa coulisse d'une quantité égale à la distance de ces deux plans. Aujourd'hui, les rapports des longueurs d'ondes des diverses variations du cadmium ont été établis par ce premier travail avec une précision qui dispense de cette opération préliminaire, et permet d'obtenir immédiatement la distance cherchée par la simple mesure de l'*excédent fractionnaire*, même pour des distances bien supérieures à 1 centimètre. Cette mesure consiste à déterminer la *fraction de frange* (c'est-à-dire de demi-longueur d'onde) d'une lumière donnée dont la distance des deux plans excède *un nombre entier*. Si cette distance a été mesurée approximativement, si par conséquent le nombre entier de longueurs d'ondes auquel elle correspond est connu d'avance à quelques unités près, le chiffre de l'unité exacte sur ce nombre peut être fixé, sans aucune ambiguité, par cette simple mesure de la partie fractionnaire qui l'accompagne, à la condition de faire simultanément cette mesure avec les diverses radiations que fournit le spectre du cadmium. La comparaison des valeurs des fractions obtenues par l'expérience, dans les diverses couleurs, avec celles qui résulteraient des rapports des longueurs d'ondes correspondantes, conduit immédiatement à la fixation de cette unité, avec une sûreté absolue.

Je rappelle encore que la mesure de la fraction excédente se fait en établissant le parallélisme exact du plan de référence avec les surfaces de l'étalon (parallèles elles-mêmes entre elles) et amenant ce plan de référence à une certaine distance de ces surfaces, soit en avant, soit en arrière, soit même entre les deux [1]. Dans ces conditions on observe, en lumière monochromatique, deux systèmes de franges circulaires à l'infini, l'un au-dessus de l'autre, et correspondant respectivement aux miroirs M, M'. Si la distance des deux plans M, M' comprend exactement *un nombre entier* quelconque de demi-longueurs d'ondes de la lumière employée, ces deux systèmes de

[1] La surface du miroir D (*fig.* 1) est beaucoup plus grande que celle de l'un des miroirs M ou M' (*fig.* 2), de sorte que le *plan de référence* se projette simultanément sur la surface de ces deux derniers.

franges se présentent avec *la même phase;* c'est-à-dire que, dans chacun d'eux, par exemple, on a une tache noire uniforme au centre du phénomène. Si la phase est différente dans les deux systèmes, c'est que la distance des deux plans excède un nombre entier de demi-longueurs d'ondes, d'une fraction qui peut se mesurer exactement au moyen du *compensateur* B (*fig.* 1). A cet effet, celui-ci est fixé dans une monture, qui est portée d'un côté (à droite) par une grosse tige de cuivre solidement vissée au socle de l'appareil ; du côté opposé, ce cadre se prolonge par un petit doigt, sur lequel s'attache un faible ressort à boudin ; celui-ci se continue par un fil, qui vient s'enrouler sur la gorge d'une poulie solidaire d'un cercle divisé qui mesure sa rotation. En faisant tourner la poulie, on tend le ressort qui imprime au cadre, et par suite à la glace B, un très petit mouvement angulaire, modifie le chemin optique parcouru par le rayon CA, et change la phase du phénomène correspondant. On peut ainsi amener successivement, par la rotation du cercle divisé, les deux systèmes de franges à présenter la même phase, et la fraction de frange correspondante est mesurée par la rotation du cercle divisé, une fois que celui-ci a été *taré* dans la même lumière. Il suffit de déplacer successivement de petites quantités le plan de référence parallèlement à lui-même pour obtenir plusieurs mesures consécutives, qui, avec des lectures absolues différentes sur le cercle divisé, doivent se contrôler mutuellement.

Pour faire la deuxième opération, c'est-à-dire la comparaison entre l'étalon Michelson et l'intervalle de la réglette à déterminer, on plaçait cette réglette en R, sur la surface supérieure de l'étalon, comme le montre la *fig.* 2; au dessus était disposé un microscope O à micromètre, à fort grossissement (près de 300 fois). L'opération consiste à amener successivement dans un même plan, qui est celui du *plan de référence*, les deux surfaces de l'étalon Michelson, par un déplacement sur sa coulisse perpendiculaire à ses surfaces, et à substituer ainsi l'un à l'autre, sous le microscope, les deux traits limitatifs de l'intervalle à étudier. Les positions limites, dans ce déplacement, sont fixées au moyen des franges obtenues en lumière blanche, colorées symétriquement par rapport à une frange achromatique centrale, que l'on ramène toujours sur un même trait de repère. Pour régler exactement les positions des surfaces, dans chaque cas, le miroir D porte un quadrillage sur toute sa surface, en traits tracés

sur l'argenture et distants les uns des autres de 5 millimètres. On s'arrange toujours, en agissant sur les organes de réglage du chariot qui porte l'étalon, de manière à ramener les franges dans une situation telle que leurs axes couvrent les traits successifs du quadrillage; on est ainsi assuré que les deux surfaces ont été rigoureusement substituées l'une à l'autre malgré les imperfections possibles (et inévitables jusqu'à un certain degré) de la coulisse sur laquelle glisse l'étalon. Dans chacune des deux positions on pointe, au moyen du micromètre, le trait qui est venu se présenter sous le microscope. La différence des deux pointés (prise avec le signe convenable) donne la différence entre l'intervalle de la réglette et le déplacement opéré, qui est lui-même égal à la distance des deux plans qui le limitent, distance qui est connue par la mesure précédente.

Dans toutes ces opérations tous les réglages doivent être faits, pour ne pas entraîner des erreurs systématiques sensibles, avec des soins minutieux, sur lesquels je ne puis m'étendre ici.

La lumière du cadmium était fournie par des tubes évacués d'air, contenant une petite quantité de cadmium, qui était porté à l'état de vapeur en les chauffant dans une enveloppe en cuivre. Le courant d'une bobine d'induction illuminait le tube, dont la lumière était analysée par un gros prisme à sulfure de carbone. Le spectre se projetait dans le plan d'une fente, sur laquelle on amenait successivement les diverses raies par une rotation convenable de la source et du prisme. De là la lumière était renvoyée par un réflecteur dans l'appareil interférentiel.

Les longueurs d'ondes qui ont été utilisées dans ces déterminations sont les suivantes:

Cadmium, raie	rouge.....	$\lambda_R = 0^{\mu},6438472$
—	verte.....	$\lambda_{V_e} = 0\ ,5085824$
—	bleue.....	$\lambda_b = 0\ ,4799911$
—	violette.....	$\lambda_{V_i} = 0\ ,4678152$

Ce sont les longueurs d'ondes dans l'air, à 15° (température du thermomètre à mercure en verre dur) et sous la pression de 760 millimètres [1]. Les conditions de température et de pression dans les-

[1] Les trois premières de ces longueurs d'ondes ont été données par M. Michelson dans son Mémoire sur le *Mètre en longueurs d'ondes lumineuses*, comme

quelles sont faites les mesures étant généralement différentes, il faut en tenir compte et faire les corrections correspondantes dans les résultats.

J'ai étudié ainsi un certain nombre de petites échelles. Sur chacune d'elles, tous les millimètres étaient d'abord déterminés individuellement au moyen du premier étalon Michelson. On a contrôlé ensuite les résultats, en mesurant directement le centimètre, c'est-à-dire leur somme, au moyen du deuxième étalon Michelson. Ces échelles ont été ensuite employées pour des comparaisons avec les anciens étalons millimétriques du Bureau international, obtenus, comme je l'ai dit plus haut, par étalonnage, et ont fourni quelques vérifications importantes pour le Bureau.

Il serait sans aucune utilité de reproduire ici les valeurs numériques, propres à des étalons particuliers, qui ont résulté de ce travail. Mais il peut y avoir quelque intérêt à indiquer rapidement les limites de précision que comportent les diverses opérations dont il vient d'être question.

Je reproduirai d'abord, à titre d'exemple, une détermination de la longueur absolue d'un étalon Michelson par la simple mesure des excédents fractionnaires ; afin de montrer la sûreté du procédé, je prendrai cet exemple dans les mesures du centimètre, où les difficultés sont sensiblement plus grandes.

La mesure des excédents fractionnaires avait conduit pour ces excédents, dans les quatre couleurs, aux valeurs suivantes (moyennes de cinq mesures au compensateur) :

Rouge	Vert	Bleu	Violet
.82	.00	.79	.93

Pour fixer les nombres entiers correspondants, on avait fait une comparaison préliminaire avec 1 centimètre étalonné, comparaison d'après laquelle la longueur de l'étalon devait être de $2^{\mu},5$ à 3^{μ} envi-

résultat des déterminations faites au Bureau international des poids et mesures. La raie violette avait servi jusqu'à des différences de marche de 5 centimètres ; mais elle a été abandonnée pour les mesures finales, faites avec des différences de marche de 10 centimètres, parce qu'elle a été trouvée trop complexe et ne s'accordant plus suffisamment avec les autres. La longueur d'onde qui lui correspond, et que je donne ici, est donc déterminée avec un peu moins de précision que les trois autres. Mais l'exactitude était encore plus que suffisante pour qu'on pût, avec avantage, l'employer ici, pour des différences de marche qui ne devaient pas dépasser 1 centimètre.

ron inférieure à la valeur exacte du centimètre. Il fallait donc chercher *le nombre entier*, en lumière rouge, d'après la longueur d'onde correspondante donnée plus haut, aux environs des nombres 31054, 31055. Or les rapports des quatre longueurs d'ondes donnent, dans le voisinage des nombres précédents, les nombres entiers et fractionnaires qui suivent :

Rouge	Vert	Bleu	Violet
31048.82	39306.70	41648.06	42732.04
9.82	7.97	9.40	3.41
50.82	9.23	50.74	4.79
1.82	10.50	2.08	6.17
2.82	1.76	3.42	7.54
3.82 (*)	3.03 (*)	4.77 (*)	8.92 (*)
4.82	4.30	6.11	40.30
5.82	5.56	7.45	1.67
6.82	6.83	8.79	3.05
7.82	8.09	60.13	4.42
8.82	9.36	1.47	5.80
31059.82.	39320.63	41662.81	42747.18

Il est évident qu'il n'y a aucune ambiguité sur les valeurs à choisir, les seules qui correspondent aux observations étant celles qui ont été marquées d'un astérisque. On pourrait, en supposant l'erreur sur la mesure préliminaire beaucoup plus considérable encore qu'elle n'était et l'incertitude du nombre à chercher beaucoup plus grande, prolonger ce tableau de part et d'autre, sans rien changer à cette conclusion. On voit que les différences entre les fractions observées et les fractions calculées n'excèdent pas 3 centièmes de frange, c'est-à-dire 15 millièmes de longueur d'onde. Aucune autre combinaison, en partant des rapports connus des longueurs d'ondes, ne donnerait, non seulement une telle vérification, mais même une approximation acceptable.

Les longueurs, en microns, correspondant aux nombres de longueurs d'ondes ainsi déterminés, seraient pour les quatre radiations :

9996$^{\mu}$,958, 9996$^{\mu}$,950, 9996$^{\mu}$,964, 9996$^{\mu}$,960.

L'exemple précédent, pris au hasard parmi 115 déterminations semblables, donnera une idée de la précision moyenne atteinte dans la mesure de l'excédent fractionnaire. La valeur moyenne des 450 écarts obtenus, dans ces expériences, entre les nombres observés et les nombres calculés, pris en valeur absolue et sans tenir

compte de leurs signes, a été trouvée égale à 0,023 frange, ce qui correspond à environ $0^{\mu},006$ dans la mesure de la distance des deux plans. L'erreur probable d'une mesure, calculée de la manière ordinaire, tomberait un peu au-dessous de ces valeurs. Toutes les fois qu'on a eu un tube à cadmium fonctionnant bien, c'est-à-dire fournissant un spectre pur et brillant, on a obtenu des concordances de cet ordre.

Lorsque, pour une cause quelconque, la source lumineuse était moins satisfaisante, soit que le cadmium introduit dans le tube n'eût pas été suffisamment purifié, soit que la pression intérieure y fût trop élevée ou trop basse, soit qu'il y eût commencement d'avaries, telles que dépôts métalliques provenant des électrodes et obscurcissant les images ou débuts de fêlures devant bientôt mettre le tube hors de service, les écarts augmentaient sensiblement, et ont pu atteindre très exceptionnellement un dixième de frange, sans pourtant entraîner jamais aucune ambiguité sur le numéro d'ordre de la frange cherchée.

Si, en second lieu, on compare entre elles plusieurs déterminations de la longueur du même étalon Michelson, faites indépendamment, à différents jours et avec de nouveaux réglages, après les avoir toutes réduites à des conditions ambiantes identiques, on voit les discordances augmenter un peu ; en effet, ici, en outre des erreurs sur la pression qui modifie la longueur d'onde, et sur la température qui modifie à la fois la longueur d'onde et la distance des plans, interviennent aussi les petites différences systématiques pouvant provenir d'un réglage plus ou moins rigoureusement parfait du parallélisme des surfaces, dans chacune des expériences. La valeur moyenne des écarts de chacune des mesures par rapport à leur moyenne a été trouvée de $0^{\mu},009$, l'écart extrême ayant atteint exceptionnellement (1 fois sur 57 mesures) $0^{\mu},023$.

Enfin, si on considère l'opération tout entière, c'est-à-dire la détermination d'un intervalle des réglettes en valeur absolue, on a à compter, en plus des erreurs précédentes, avec celles qui proviennent de l'emploi d'un microscope et des pointés micrométriques sur les traits limitatifs de cet intervalle. En évaluant, comme précédemment, la précision moyenne atteinte par la valeur moyenne des écarts de chacune des mesures individuelles d'un intervalle par rapport à leur moyenne,

les expériences ont fourni pour cette valeur $0^{\mu},088$ (moyenne de 308 mesures réparties sur 77 intervalles). L'erreur probable de la longueur finalement admise pour un intervalle a été, en moyenne, voisine de $\pm 0^{\mu},04$. Sans insister davantage, et sans vouloir attribuer aux diverses données numériques que je viens d'indiquer une signification trop rigoureuse [1], on voit cependant qu'elles suffisent pour mettre très nettement en évidence ce fait, que la plus grosse part, de beaucoup, des incertitudes de résultat final d'une telle étude est due aux mesures faites par le microscope. Malgré la perfection du poli des surfaces, malgré la finesse et la netteté des tracés, qui ont permis d'employer ici avec avantage un grossissement exceptionnel, il est bien difficile de *garantir*, dans la combinaison de deux pointés qui constitue l'évaluation d'un intervalle, une exactitude qui dépasse sensiblement le dixième de μ.

C'est une nouvelle vérification de la merveilleuse puissance des moyens que les méthodes interférentielles mettent à notre disposition pour déterminer de petites quantités, puissance telle que nous ne pouvons même pas, dans des questions comme celle-ci, l'utiliser tout entière, à cause de l'imperfection relative des autres procédés de mesure auxquels nous sommes obligés de les associer. Il est certain que leurs applications en métrologie, inaugurées par Fizeau dans son dilatomètre, sont destinées à se multiplier de plus en plus, et il n'est pas impossible qu'elles conduisent, dans l'avenir, à une transformation dans la nature même ou la disposition des étalons primordiaux destinés à représenter et à définir les unités fondamentales de dimensions. Au Bureau international des Poids et Mesures, diverses autres applications des franges d'interférence ont été faites récemment. En particulier, M. P. Chappuis a pu, en combinant les procédés Michelson avec le procédé Fizeau, arriver à déterminer, directement par les longueurs d'ondes, et sans faire intervenir aucun étalon métrique, les dimensions de pièces cubiques en verre, de 5 centimètres environ d'arête, destinées à servir dans un travail, actuellement encore en cours d'exécution, sur la masse du décimètre cube d'eau.

---

[1] La vérification des sommes de 10 millimètres de chaque réglette, faite, comme je l'ai dit plus haut, par une mesure indépendante du centimètre entier, conduirait à une évaluation de l'exactitude à peu près du même ordre, plutôt un peu plus favorable.

Sur les phénomènes de ségrégation moléculaire observables dans les liquides troubles abandonnés au repos;

Par M. A. Guébhard [1].

Lorsqu'on abandonne au repos, sous faible épaisseur, un liquide confiné, on est surpris de la rapidité avec laquelle s'arrête le mouvement d'ensemble du fluide, et quand on voit, après quelques secondes à peine, une particule flottant à la surface, en dehors de l'action capillaire des bords, demeurer fixe, on ne peut faire autrement que de se demander ce qu'est devenue l'énergie dégagée par l'arrêt si brusque d'une masse si mobile.

L'examen de ce que laisse voir un liquide trouble permet d'affirmer que la plus grande partie de cette énergie, avant de passer à l'état calorique, est employée à un travail de ségrégation moléculaire, qui, d'après ce que l'on connaît de l'aptitude des particules en suspension dans les liquides et les gaz à rendre visibles toutes les différences vibratoires de condensation des fluides, pourrait bien n'être que l'indice d'une propriété commune à tous les liquides même homogènes : celle de ne passer, de l'état dynamique de mouvement, à l'état, dit statique, de simple vibration atomique, que par l'intermédiaire d'une phase de vibration moléculaire, de nature probablement tourbillonnaire, qui divise toute la masse par une trame de surfaces nodales ou ventrales, en une infinité de volumes élémentaires, ventraux ou nodaux, accumulateurs momentanés d'une partie de l'énergie, qui empêche le rétablissement immédiat de l'homogénéité physique ou chimique.

On conçoit que les mélanges très complexes de liquides employés en photographie comme bains révélateurs, alors même que l'instabilité de leur équilibre chimique ne permettrait pas de les assimiler toujours à de véritables liquides troubles à l'état naissant, puissent, grâce à leur propriété de réduire inégalement suivant leur condensation le bromure d'argent impressionné par la lumière, enregistrer toutes ces différences d'homogénéité du liquide, et donner, sur toute plaque ayant reçu préalablement, ou recélant en elle-même à

---

[1] Séances des 18 juin et 16 juillet 1897.

l'état latent (comme les instantanées), le minimum de *voile* nécessaire à un noircissement quelconque, l'image de ce qui s'est passé tout au moins à leur surface.

Toute plaque de cette sorte, abandonnée au repos dans un bain de faible épaisseur pendant 5 à 20 minutes, en sort couverte tantôt d'un semis floconneux de taches blanches ou noires (*fig.* 1 et 3), tantôt d'un réseau noir à mailles plus ou moins polygonales (*fig.* 2), tantôt d'une zébrure de bandes noires et blanches plus ou moins espacées (*fig.* 3 *partim*).

Voici comment je décrivais la genèse de toutes ces apparences, dans une de mes premières observations, faite le 25 avril, en examinant, à la lueur d'une lampe à pétrole, un vieux bain d'hydroquinone tout à fait inactif, troublé par un peu de craie lévigée et abandonné au repos dans une cuvette de carton noir contenant une plaque photographique surmontée d'environ 3 millimètres de liquide.

Quatre minutes et demie, à peu près exactement, après la survenue du repos superficiel, l'on voit subitement naître, en deux ou trois points d'élection, de petites taches rondes, tranchant par leur éclat franchement blanc sur le blanc louche du liquide. D'autres taches surgissent, sans loi apparente, puis, tout d'un coup, des groupes entiers, réticulés de noir, luisant comme grains de tapioca dans un potage. Peu à peu toute la surface apparaît couverte d'un réseau à mailles régulières qui, débordant du fond blanc de la plaque sur le fond noir de la cuvette, y prend des apparences inverses (taches obscures en un lacis clair), mais semble longtemps tenu à distance par les ménisques des bords, sur lesquels se produit seulement plus tard une sorte de division générale en anses jaunes séparées par des festons rouges, qui, régulièrement accrochés comme des draperies de tentures, sont le siège d'un mouvement superficiel d'écoulement en cascade très curieux.

Cependant les taches, dans leur ordre d'apparition, lentement s'élargissent, jusqu'à prendre, au détriment des filets séparatifs, des formes polygonales, souvent à six côtés, qui donnent à certaines parties tout l'aspect d'une ruche (*fig.* 2). On se rend compte, d'ailleurs, à ce moment, par des effets de parallaxe ou des jeux d'ombres portées, que chaque tache n'est, en réalité, que la section supérieure d'un cylindre de transparence, laissant voir directement le fond blanc ou noir sur lequel se détache, par contraste, le cloisonnement régulier

formé par l'accumulation, suivant des lignes ou surfaces probablement nodales, des fines particules en suspension.

Au fur et à mesure que s'amincissent les cloisons, l'on voit, comme dans un schéma de la transformation en fibre de la cellule organique, les alvéoles confluer, d'abord deux par deux, rarement par les côtés (1), presque toujours par files, lesquelles tantôt se continuent sur de grandes longueurs et constituent alors des systèmes plus ou moins étendus de bandes équidistantes, tantôt s'amincissent en fuseaux écourtés, entre les anastomoses brèves du canevas sombre, et rappellent alors les empreintes laissées sur le sable fin par le clapotis des vagues.

Autant on eût dit, tout à l'heure, les *cumulus* de la météorologie, autant on croit voir, maintenant, des *stratus*, et tout cela ne peut faire autrement que d'évoquer l'idée de condensations et dilatations d'ordre vibratoire, mais compliquées, comme toutes celles qui rendent si difficile l'étude de l'acoustique, de phénomènes tourbillonnaires, que des observations répétées m'ont permis de serrer d'un peu plus près, en me montrant qu'avant même la phase de début de ma description un travail moléculaire très particulier remplissait les 4 à 5 minutes d'intermède supposé.

Lorsqu'on verse dans une cuvette blanche un révélateur rougi par l'usage (2), on voit des stries foncées dessiner à la surface, soit en alignements parallèles, soit en volutes enroulées, les derniers mouvements du liquide. Mais ces lignes ne gardent pas longtemps leur finesse de graphique rouge sur fond jaunissant, et, sans qu'il soit donné, comme avec un fil de salive tendu entre deux doigts, de saisir la transformation du filet en chapelet, l'on voit bientôt s'en détacher des rangées de petits glomérules qui, presque invisiblement suspendus au filament supérieur devenu lui-même indistinct,

---

(1) Pourtant il m'est arrivé, dans quelqu'un de ces cas exceptionnels, où, auparavant, n'avait pu être devinée, dans la distribution uniforme des taches, aucune disposition particulière à s'aligner en files voisines, d'assister à la transformation extraordinairement régulière d'une cellule hexagonale entourée de six autres, en une seule de près de 1 centimètre de diamètre à six pans parfaitement égaux, résultant de la fusion des sept premières.

(2) C'est avec le pyrogallol que j'ai fait ces observations. Mais on peut les rendre encore plus visibles et isoler, pour ainsi dire, les phénomènes, en exprimant sur le bord d'une cuvette de porcelaine contenant quelques millimètres d'eau, un gros pinceau imbibé d'une ou mieux de deux couleurs d'aquarelle, telles que le bleu de Prusse et le carmin.

descendent vers le fond à la manière de ces *anneaux tourbillonnaires* dont j'ai fait autrefois l'objet d'une étude particulière [1].

Or on sait que ces anneaux, théoriquement insécables et indéfiniment extensibles à l'approche d'une paroi solide, qu'il leur est interdit de toucher, n'ont précisément pas d'autre manière que celle-là de se redissoudre dans l'ambiance infinie. En pratique, on les voit bien s'étaler énormément au voisinage du fond, s'ils sont seuls, mais, s'ils sont plusieurs assez voisins, se comprimer forcément en figures polygonales, dont la fusion n'est autre que le réseau précédemment signalé, et chaque lacune la trajectoire de chute de l'un des tourbillons élémentaires.

Ces assimilations se trouvent d'ailleurs justifiées par les diverses lois auxquelles m'a conduit l'étude circonstanciée du phénomène.

Pourquoi les taches, lorsqu'elles sont petites, sont-elles toujours noires, sur le cliché, et blanches, au contraire, dès qu'elles dépassent 3 à 4 millimètres de diamètre? C'est qu'apparemment, dans le premier cas, le tourbillon, n'ayant pas encore eu le temps de s'étendre en anneau, jusqu'à rompre la sorte de toile de front qui réunit les enroulements spiraux constitutifs du tore périphérique en forme de bouclier dans la marche en avant, a agi sur le gélatino-bromure comme un disque, en laissant tout au plus à son centre une petite tache blanche, qu'il m'a été donné d'observer parfois. Si, au contraire, l'anneau dans son extension croissante, a subi la rupture axiale, bien visible quand on étudie le phénomène isolément avec les couleurs d'aniline, alors c'est la circonférence même qui, allant comprimer ses voisines, dessinera avec elles le réseau noir aminci autour des taches blanches élargies.

Mais pourquoi les taches sont-elles tantôt minuscules et tantôt grandes? Une seule expérience, qui en résume beaucoup d'autres, faites par séries de quatre cuvettes, confirme cette prévision, que le diamètre des taches doit croître avec la hauteur de chute de l'anneau, c'est-à-dire avec la profondeur du liquide. Si l'on met une plaque dans une cuvette inclinée, on voit le tachetage croître (ou les zébrures s'écarter), toujours du côté de la plus grande profondeur. Il semble même, d'après quelques mesures fournies par des plaques préalablement impressionnées sous un papier millimétrique, que la loi soit, à très peu près, celle de la proportionnalité simple. Mais je

---

[1] *La Nature*, n° 427, p. 149 ; 1881.

ne l'indique qu'à titre de première et très provisoire approximation.

Très faibles sont d'ailleurs les limites dans lesquelles on peut l'étudier, car l'intensité du contraste entre les mailles et leurs inclusions (ou entre les bandes noires et blanches) diminue au fur et à mesure qu'augmentent les diamètres, de sorte que, déjà pour une hauteur de liquide de 8 millimètres, il n'y a presque plus rien de perceptible, et jamais rien du tout pour 10 millimètres : moyen pratique d'éviter, par l'emploi d'un bain profond, le tachetage que produirait son immobilité.

A la vérité ce dernier fait, ainsi que le précédent (1), pourraient sembler difficilement conciliables avec l'hypothèse tourbillonnaire, sans la connaissance d'une particularité des plus curieuses établie par l'analyse mathématique de Helmholtz et vérifiée expérimentalement dans les anciennes recherches auxquelles j'ai déjà fait allusion, ainsi que dans d'autres, sur le mécanisme intime de l'osmose (2), relativement à la manière très originale dont se comportent deux tourbillons lancés sur des trajectoires voisines dans une même direction. Le dernier venu, comme attiré dans l'axe du premier, augmente de vitesse en se rétrécissant, jusqu'à traverser l'autre qui, sitôt dépassé, renouvelle le jeu, et réciproquement, en théorie, jusqu'à l'infini dans l'espace et dans le temps. Mais, dans la réalité, l'on conçoit qu'à l'approche de la paroi solide les mouvements finissent par se brouiller ou se confondre, surtout si la danse tourbillonnaire ne s'est pas réduite à un simple chassé-croisé à deux, mais a englobé, comme c'est probable, par successive aspiration, tout le groupe des voisins du premier parti. Ainsi s'expliquerait la diminution de nombre, corrélative forcée de l'augmentation de diamètre des taches, et aussi la régularité souvent remarquable de leur répartition.

Quant aux alignements suivant lesquels celles-ci se rangent et, plus tard, se fusionnent en longues bandes, est-il étonnant, d'après cette genèse bien constatée, qu'ils reproduisent précisément sur la plaque l'image depuis longtemps disparue, ou même jamais aperçue à la surface, des fins tractus représentatifs des derniers mouvements liquides, et puissent même, dans la mesure où l'on peut commander à ces mouvements, figurer à volonté tantôt des lignes à peu près

(1) Et un autre qu'il y faut ajouter, à savoir que le diamètre des taches paraît en rapport inverse de la densité de trouble artificiellement établi en mélangeant au bain des quantités variables de blanc d'Espagne.

(2) *Afas*, VIII, 410 ; Montpellier, 1879.

parallèles aux bords de la cuvette, tantôt quelqu'un de ces grands demi-tourbillons à axe horizontal, frères majeurs des autres, que Helmholtz ne dédaignait pas d'étudier en promenant une petite cuillère à la surface de son café au lait ?

Souvent aussi c'est le système orthogonal du précédent, c'est-à-dire celui d'égal potentiel hydrodynamique, que représentent ces lignes. Mais n'est-ce pas une confirmation bien probante encore de l'interprétation que j'ai donnée, après examen de plus de cinq cents clichés, de ce petit accident très commun, mais jamais encore étudié physiquement, de la cuisine photographique, parfaitement indépendant, d'ailleurs, de la plaque au gélatino-bromure et simplement enregistré par elle, mais que certains auteurs, sans nul doute, n'en persisteront pas moins, longtemps encore, à présenter comme « pho-« tographies d'états d'âme [1] ou d'effluves de fluide vital [2] », suivant que la plaque aura été soumise, avant immersion, et enfermée ou non dans son châssis (ce qui est, on le conçoit, parfaitement indifférent), à telle ou telle mise en scène appropriée ?

Une curieuse variante de ce genre d'exercices consiste à mouiller la plaque avant de la mettre au bain. Les figures obtenues dans ce cas sont, en général, d'une régularité remarquable (*fig.* 4), et les zébrures obtenues se distinguent des précédentes par leur continuité en largeur comme en longueur et leur *rectitude*, s'il est permis d'appliquer ce terme à des lignes généralement courbes. L'étude de ce cas m'a amené à constater avec certitude que ces lignes ne représentent plus, à la vérité, comme les autres, les dernières girations du liquide, mais bien, au contraire, le premier afflux du révélateur sur la plaque mouillée, ou sa modification par l'apposition consécutive d'objets quelconques (*fig.* 4). C'est ainsi qu'une plaque humide, placée d'abord flottante à la surface du liquide, puis enfoncée bien perpendiculairement, en ressortira couverte de bandes régulières partant toutes normalement des bords et venant se joindre géométriquement suivant des nervures régulièrement bissectrices des angles, pour former vers le milieu, à la place où a eu lieu le choc de front des quatre vagues, un brouillage général qui s'imprime en un lacis vermiculaire du plus curieux aspect (*fig.* 5).

D'après cela, l'on ne s'étonnera pas que l'apparition de ces

---

(1) Hipp. Baraduc, *Soc. de Biologie*, 3 juillet 1897.
(2) Luys et David, *Soc. de Biologie*, 10 juillet 1897.

figures, quelque rapide qu'elle soit, puisse être, comme celle des autres, empêchée en agitant la cuvette. Par contre, une grande profondeur de liquide ne les empêche nullement de se former et n'a pour effet que de rendre plus larges et plus espacées les bandes cannelées.

Il semble d'ailleurs qu'il y ait, là encore, une propriété générale de la mise en contact d'un liquide avec une surface préalablement mouillée d'un autre. Car des figures absolument semblables aux précédentes s'observent quand on suit dans l'hyposulfite la marche de la dissolution du bromure, qui se fait (du moins pour des plaques révélées à l'amidol et mises sans lavage préalable au bain fixateur) tout à fait indépendamment de l'image, suivant des stries qu'on peut voir toutes blanches au dos de la plaque, identiques à celles que nous venons de décrire et qu'on pourrait, sans doute, fixer elles-mêmes en mettant à ce moment la plaque au lavage, la réexposant ensuite au soleil, développant à nouveau et fixant définitivement (1).

Jusqu'ici nous n'avons employé la plaque que seule, comme simple enregistreur des phénomènes qui, elle présente ou absente, se passent d'identique façon. Qu'adviendra-t-il si, sur la plaque, on appose quelque objet solide ?

C'est un fait bien connu que, dans tous les mouvements qui obéissent à l'équation Δ, tout obstacle introduit dans le champ du mouvement force les lignes de flux à le contourner (l'une d'elles, pour cela, se bifurquant) et les lignes de niveau à le venir rencontrer normalement. Si donc, dans un dessin du champ, l'on fait ressortir, au détriment des autres, les lignes de niveau, celles-ci apparaîtront comme de véritables rayons issus du pourtour de l'obstacle, rayons dont elles pourraient d'ailleurs très bien jouer le rôle effectif, si, à un moment donné, l'on profitait de la réversibilité des deux solutions conjuguées de l'équation potentielle pour renverser les rôles, ainsi que je l'ai réalisé pratiquement dans des recherches antérieures (2).

---

(1) J'ajoute qu'il semble qu'il y aurait, dans l'application de cette propriété générale des plaques (sans compter mainte autre combinaison possible), un moyen d'enregistrer les lignes de flux d'arrivée d'un liquide révélateur dans un canal dont le fond et les parois seraient tapissés de pellicules sensibles préalablement exposées et mouillées.

(2) *Sur la réversibilité de la méthode électro-chimique de figuration des systèmes équipotentiels.* — C. R., XCIII, 792; 1889.

C'est ce qui se passe automatiquement dans la cuvette photographique lorsqu'on trouble par l'apposition d'un objet quelconque la formation des alignements de glomérules ou des bandes radiées que nous avons vus représenter tantôt les lignes de flux, tantôt celles d'égale pression hydrodynamique. Ici, c'est justement parce qu'elles prennent *toujours* cette dernière disposition et cessent d'être des lignes de flux du liquide, qu'elles apparaissent comme *effluves* de l'obstacle, et c'est ce qui excuse jusqu'à un certain point l'erreur d'expérimentateurs qui, n'ayant opéré qu'avec le doigt vivant, ont cru voir des *effluves humains* (1) dans les rayonnements trompeurs, que l'on peut observer à peu près sûrement autour de n'importe quel objet (*fig.* 3 et 4).

Il est vrai que la figure se compliquait, pour eux, de l'apparition d'*auréoles*, zones alternativement claires et sombres, autour de l'empreinte. Mais, pour se convaincre de l'origine purement mécanique de ces nouvelles apparences (auxquelles ne laissent pas que de contribuer, d'ailleurs, bien d'autres causes physiques trop longues à énumérer) il n'y a qu'à observer ce qui se passe autour du doigt ou de tout autre objet, lorsqu'on le pose sur le fond d'une cuvette noire contenant une mince couche de liquide troublé par du blanc d'Espagne. La *fig.* 6 fait bien ressortir la similitude qu'il y a entre ces enregistrements photographiques et les effets, depuis longtemps étudiés, de simple chasse liquide et d'interférence ondulatoire que produit la chute d'un corps sur une couche pulvérulente.

Tout au plus pouvait-on objecter que les effets obtenus par le doigt humain (*fig.* 3) étaient toujours plus intenses, quoique identiquement de même forme, que ceux que pouvait fournir simultanément un *doigt artificiel*, facilement constitué en gonflant d'eau un de ces petits boudins de caoutchouc mince que l'on vend dans les foires comme soufflerie des sifflets appelés *bibis* par les camelots. La différence ne pouvant tenir qu'à la chaleur animale, je l'ai fait disparaître effectivement en imitant les conditions thermiques du doigt vivant, comme celles de consistance et de forme, et en remplaçant l'eau froide par de l'eau chaude, capable de céder à la plaque un nombre équivalent de calories, c'est-à-dire dépassant, au début de l'expérience, la température de notre sang, du même nombre de degrés qu'elle lui sera inférieure à la fin.

---

(1) David et Luys, *Soc. de Biologie*, juin 1897.

Dès lors, et malgré la condition défavorable provenant de l'immobilisation du liquide refroidi au point de contact, on arrive à répéter identiquement avec le doigt artificiel tous les effets obtenus avec l'autre (*fig.* 3). *Tous*, dis-je, y compris ceux qui ont été plus récemment obtenus en opérant sur des plaques retournées face en bas, par des opérateurs qui prétendent photographier le « fluide magnétique », soit de l'aimant, soit... du corps humain [1], et cela, même à distance, en amenant ledit fluide sur la plaque par... un fil de cuivre !

Il ne s'agit ici, très certainement, que d'actions thermiques, et si la plaque retournée est particulièrement apte à les enregistrer, c'est que, d'autant plus soustraite, qu'elle est plus éloignée du fond, à l'influence des grands mouvements du liquide, qui ne fait que glisser, pour ainsi dire, sur la couche adhérente à la gélatine, elle transmet directement, par cette couche, aux autres, les actions extérieures qu'elle reçoit.

J'avais déjà constaté précédemment que la plaque retournée, utilisée comme explorateur, soit de l'intérieur, soit de la surface du liquide, montrait, appliquée très près du fond, une impression assez serrée de sinuosités enchevêtrées d'un vague aspect de purée cérébelleuse (*fig.* 7), tandis qu'on ne trouvait plus, au fur et à mesure qu'on s'élevait, qu'un lacis de plus en plus lâche de minces lignes claires imitant le réseau polygonal d'une porcelaine craquelée et justifiant une fois de plus, dans le sens vertical, la loi de proportionnalité de la largeur des mailles à la hauteur du liquide.

De là, pour celui-ci, une prédisposition particulière à subir les influences du dehors ; et des expériences nouvelles, sur lesquelles je reviendrai, m'ont permis d'établir combien, parmi toutes, l'action de la chaleur est importante et donne des résultats curieux.

---

(1) *La Nature*, n° 1274, p. 349 ; 1897.

Sur la résonance multiple ;

Par M. L. Décombe [1].

MM. Sarasin et de la Rive ont, les premiers, mis en lumière le fait [2] qu'un excitateur électrique donné peut actionner un résonateur de dimensions quelconques et que, si l'on produit un système de nœuds et de ventres électriques, la longueur d'onde observée dépend toujours et seulement du résonateur employé.

Ce fait a reçu deux explications :

Dans la première, due à MM. Sarasin et de la Rive, l'excitateur serait le siège d'une infinité de vibrations différentes formant une sorte de spectre continu dans lequel le résonateur choisirait la sienne propre.

Dans la deuxième, proposée à peu près simultanément par MM. Poincaré [3] et Bjerknes [4], on suppose que l'excitateur et le résonateur ont chacun une vibration propre, de période et de décrément bien déterminés ne dépendant que des dimensions et de la forme de ces appareils.

Soient T et δ ces deux quantités pour l'excitateur, T′ et δ' leurs valeurs pour le résonateur.

Nous poserons :

$$a = \frac{2\pi}{T}, \quad \alpha = \frac{\delta}{T}, \quad b = \frac{2\pi}{T'}, \quad \beta = \frac{\delta'}{T'}.$$

Soit, en outre, φ la différence de potentiel aux pôles du résonateur.

Si l'on suppose, pour un instant, que le résonateur vibre de sa vibration propre, la cause excitatrice ayant disparu très rapidement, la quantité φ satisfera à la relation différentielle du mouvement périodique amorti :

$$(1) \qquad \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\beta \frac{d\varphi}{dt} + (b^2 + \beta^2)\varphi = 0,$$

mais si la force excitatrice, qui est elle-même une fonction périodique amortie de la forme $Ke^{-\alpha t} \cos at$, ne disparaît pas dans un temps

---

(1) Séance du 2 juillet 1897.

(2) Sarasin et de la Rive, *Arch. des Sciences phys. et nat.*, t. XXIII, p. 113.

(3) Poincaré, *Electricité et Optique*. G. Carré, édit., 1891.

(4) Bjerknes, *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 75.

très court par rapport à la durée d'une vibration du résonateur, celle-ci est altérée et la relation (1) doit s'écrire :

$$(2) \qquad \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\beta \frac{d\varphi}{dt} + (b^2 + \beta^2)\varphi = Ke^{-\alpha t} \cos at.$$

L'intégrale générale de cette équation est de la forme :

$$(3) \qquad \varphi = Ae^{-\alpha t} \cos (at + a') + Be^{-\beta t} \cos (bt + b').$$

Le résonateur est donc le siège d'un mouvement qui peut être considéré comme la superposition de deux vibrations.

Si le décrément δ de l'excitateur est considérable par rapport à celui du résonateur, ce qui est le cas habituel [1], la première vibration s'éteint rapidement et le phénomène est régi par la seconde : *Le résonateur vibre avec sa période propre*, et la longueur d'onde observée est variable avec le résonateur employé.

Si, au contraire, c'est le décrément δ du résonateur qui est considérable par rapport à celui de l'excitateur, au bout d'un temps très petit, la première vibration subsiste seule : *Le résonateur vibre avec la période de l'excitateur*, par conséquent la longueur d'onde doit être, dans ce cas, indépendante du résonateur.

C'est cette conclusion que je me suis proposé de vérifier expérimentalement.

Deux choses sont à réaliser : l'augmentation du décrément du résonateur et la diminution de celui de l'excitateur.

On peut augmenter le premier en donnant pour self-induction, au résonateur, un fil de grande résistance. Le décrément logarithmique est, en effet,

$$\pi R\sqrt{\frac{C}{L}},$$

d'après la théorie de Thomson.

Le décrément de l'excitateur est généralement considérable par suite de la présence de l'étincelle explosive qui constitue la partie la plus forte de la résistance ; j'ai employé un dispositif dans lequel cette étincelle est supprimée; l'excitateur étant d'ailleurs constitué par une tige de laiton du diamètre de 7 millimètres, la résistance était faible, et par suite le décrément.

---

(1) Bjerknes, *loc. cit.*, p. 88.

Description des appareils. — Un premier oscillateur O_1 (*fig.* 1) est directement actionné par la bobine d'induction B ; l'étincelle éclate en E, dans de l'huile de vaseline. Un deuxième oscillateur O_2, en tout semblable au premier, sauf qu'il ne présente pas de solution de continuité analogue à E, est mis en vibration par l'induction électrostatique que le premier exerce sur lui. Cette induction s'exerce par l'intermédiaire des petites plaques métalliques C_1 et C_1' jouant le rôle de capacités et séparées des plaques semblables C_2 et C_2' par un diélectrique mince (une lame de verre).

La période d'un excitateur étant indépendante de la résistance de cet appareil, ainsi qu'il résulte de la formule de Thomson $T = 2\pi\sqrt{LC}$ et que l'a d'ailleurs montré Feddersen [1], les deux oscillateurs précédents émettent des vibrations de même période, condition nécessaire pour que les oscillations de O_2 ne soient pas troublées par celles de O_1.

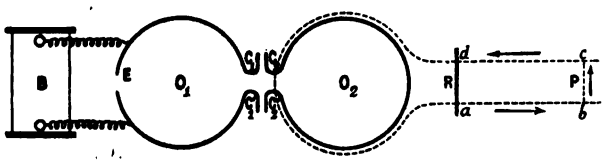


Fig. 1.

L'oscillateur O_2 agit sur un fil métallique très voisin dont il est seulement séparé par l'épaisseur d'un tube de caoutchouc qui l'enveloppe ; il y induit des oscillations de même période que les siennes et qui se propagent ensuite dans les fils parallèles *ff* (ces fils se prolongent sur une longueur d'environ 15 mètres).

Le résonateur R, pour lequel j'ai employé le dispositif utilisé par M. Nils Strindberg [2], est placé perpendiculairement à la direction des fils parallèles. Il est muni d'un micromètre qui fonctionne par le moyen d'une vis différentielle dont les pas sont respectivement $1^{mm},25$ et 1 millimètre ; comme la tête de vis porte 180 divisions égales, chaque division correspond à $\frac{1}{720}$ de millimètre.

---

(1) Feddersen, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXIX, p. 178 ; 1863.

(2) Nils Strindberg, *Arch. de Genève*, 3e série, t. XXXI, p. 129 ; 1894 ; voir *Journ. de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 457 ; 1897.

Au lieu de déplacer le résonateur le long des fils, on le laisse au repos et l'on fait mouvoir un pont mobile P placé sur ceux-ci; on détermine la distance explosive au micromètre pour une série de positions équidistantes du pont, et l'on construit une courbe dont les abscisses sont proportionnelles aux chemins *abcd* parcourus le long des fils et les ordonnées aux distances explosives correspondantes.

La distance de deux maxima consécutifs, mesurée à l'échelle de la courbe, donne alors la longueur d'onde cherchée.

Les expériences ont été faites avec des résonateurs de même capacité, mais de self-inductions différentes. Celles-ci étaient formées par un fil de fer du diamètre de $\frac{1}{10}$ de millimètre disposé en rectangle. Voici les dimensions de ce rectangle pour chacun des quatre résonateurs employés :

Résonateur.	Dimensions.		
I.....	60cm	sur	46cm
II.....	50	»	38, 3
III.....	40	»	30, 7
IV.....	30	»	23

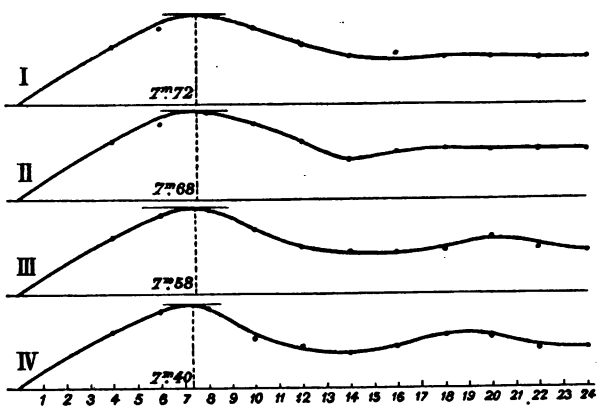


Fig. 2.

Le dessin (*fig.* 2) ci-dessus reproduit les courbes correspondantes.

On peut se borner à considérer le premier ventre et à multiplier par deux la distance qui le sépare de l'origine pour obtenir la longueur d'onde correspondante λ.

D'un autre côté, en se basant sur la longueur d'onde donnée par

le premier résonateur, on peut calculer ce que seraient celles des autres si elles ne dépendaient que de leurs dimensions. Ces longueurs λ' seraient entre elles comme les racines carrées des self-inductions qui sont elles-mêmes sensiblement proportionnelles aux longueurs des rectangles qui les constituent. On peut aussi dresser le tableau suivant :

Résonateur.	λ.	λ'.
I	15,44	15,44
II	15,36	14,09
III	15,16	12,60
IV	14,80	10,91

On voit que λ peut être regardé comme sensiblement constant, c'est-à-dire que, dans les conditions des expériences, la longueur d'onde observée est à peu près indépendante du résonateur. Il reste cependant une légère influence du résonateur qui se traduit par une diminution lente de la longueur d'onde ; s'il était possible de mieux réaliser les conditions d'amortissement que l'on a cherché à remplir, on arriverait, sans doute, à la constance absolue de λ. Tous ces résultats sont entièrement conformes à la théorie émise par MM. Poincaré et Bjerknes [1].

Recherches sur les aciers au nickel;

Par M. Ch.-Éd. Guillaume [2].

Les curieuses anomalies que présentent les aciers au nickel ont provoqué, dans ces dernières années, de très intéressantes études de la part de MM. J. Hopkinson, H. Le Chatelier, Osmond, A. Le Chatelier et de quelques autres métallurgistes. En dehors des recherches ayant un caractère industriel, on s'est attaché surtout à l'étude des transformations irréversibles découvertes par M. Hopkinson, qui en a décrit les caractères les plus saillants.

Les premières recherches, faites au Bureau international des Poids et Mesures, sur les aciers au nickel furent entreprises par M. Benoît,

---

(1) La première idée de ce travail remonte au mois d'avril 1894 (voir *Rapport sur l'Ecole pratique des Hautes Études*, 1893-1894). Il n'a pu être exécuté, faute d'espace, que l'année suivante, dans la galerie de 60 mètres du nouveau laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne.

(2) Séance du 2 juillet 1897.

directeur du Bureau, à l'occasion de la détermination d'une règle à bouts appartenant à la Section technique de l'Artillerie. C'est au cours des mesures de la longueur de cette règle, faites en mars 1895 à des températures un peu différentes, que M. Benoît découvrit que sa dilatation était voisine de celle du bronze. Plus tard, en mai 1896, ayant entrepris de mesurer la dilatation d'une barre d'acier à 30 0/0 de nickel, je la trouvai d'un tiers environ plus faible que celle du platine.

Le premier alliage contenait 22 0/0 de nickel et 3 0/0 de chrome. On pouvait espérer dès lors, en augmentant la teneur en nickel au-delà de 30 0/0, obtenir des alliages à très faible dilatation. L'importance de pareils alliages pour la Métrologie m'engagea à faire une étude plus complète de l'anomalie de dilatation, pour laquelle on ne possédait encore que deux points de repère. Je m'adressai alors à M. L. Dumas, secrétaire général de la Société de Commentry-Fourchambault, qui, d'accord avec M. H. Fayol, directeur général de cette société, voulut bien mettre à ma disposition tous les alliages nécessaires à cette étude (1).

L'anomalie de dilatation n'est pas isolée ; elle est intimement liée à d'autres propriétés des alliages, dont plusieurs ont été l'objet de quelques recherches. L'ensemble des variations que l'on constate dans ces alliages semble dépendre de transformations analogues à celles que subissent le fer et le nickel lorsqu'ils passent de l'état ferromagnétique à l'état faiblement magnétique. C'est ce qui m'a engagé à faire une étude sommaire de ces transformations.

Propriétés magnétiques. — Pour l'étude des transformations magnétiques, le barreau à examiner était suspendu à une balance en bois et plongeait dans une chaudière en laiton, posée sur une pièce polaire d'un électro-aimant, et remplie, suivant les températures, d'huile, d'eau ou d'alcool. On mesurait la force d'arrachement en même temps que la température du bain. La plupart des mesures ont été faites à température lentement descendante ; quelques-unes ont été répétées à température ascendante.

Ces expériences ont montré qu'au point de vue des propriétés

(1) Au cours de ces recherches j'ai été conduit à demander la fabrication de plus de trente nouveaux alliages, qui m'ont tous été fournis à titre gracieux par la Société de Commentry-Fourchambault. Ils ont été préparés dans les aciéries d'Imphy, dirigées par M. Adenot, et livrés en barres forgées de 22 à 24 millimètres au côté et de $1^{m},20$ de longueur environ. Tous les alliages ont été analysés, les uns dans les forges de Fourchambault, la plupart dans les aciéries d'Imphy.

magnétiques les aciers au nickel, ne contenant, en dehors du fer et du nickel, que de petites quantités de carbone, de silicium et de manganèse, se divisent en deux catégories bien distinctes. Les premiers, contenant de 0 à 25 0/0 de nickel environ, et qui semblent compris assez exactement entre les formules Fe et Fe^3Ni sont irréversibles en ce sens qu'à une même température ils peuvent exister à deux états essentiellement différents, suivant le cycle des températures antérieures ; ils suivent, entre certaines limites de température, même pour de très faibles écarts, des chemins entièrement différents, à température ascendante et descendante.

Lorsque ces alliages sont chauffés, ils perdent leur magnétisme graduellement entre deux températures, qui sont comprises pour tous les alliages entre le rouge naissant et le rouge cerise. Lorsqu'on les refroidit, ils repassent par les mêmes températures sans redevenir magnétiques, et ne reprennent leur premier état qu'à une température inférieure à celles entre lesquelles se produit la perte du magnétisme. Le retour au premier état est graduel, et les températures entre lesquelles il se produit sont d'autant plus basses que l'alliage est plus riche en nickel. Pour l'alliage à 24 0/0, la transformation débute un peu au-dessous de zéro. Le chrome abaisse la température à laquelle se produit le retour à l'état magnétique. L'acier, contenant 22 0/0 de nickel et 3 0/0 de chrome (acier NC4 de la Société de Commentry-Fourchambault), reste non magnétique même dans l'air liquide, comme j'ai pu le constater, grâce à l'obligeance de M. le Professeur J. Dewar, qui a bien voulu m'autoriser à en faire l'expérience avec lui.

Les aciers d'une teneur supérieure à 25 0/0 sont réversibles et possèdent, à chaque température, des propriétés magnétiques qui, en première approximation, ne dépendent que de la température actuelle. Toutefois les alliages dont la teneur est très peu supérieure à 25 0/0 se comportent d'une façon un peu différente, après avoir été chauffés ou refroidis ; ils semblent contenir des traces d'un alliage irréversible entre des températures moins distantes que celles entre lesquelles les précédents alliages peuvent se présenter sous les deux états.

Pour les alliages réversibles, la température à laquelle se produit la perte totale du magnétisme est représentée, en fonction de la teneur en nickel, par la formule :

$$\theta = 34{,}1\ (n - 26{,}7) - 0{,}80\ (n - 26{,}7)^2,$$

dans laquelle n indique la teneur en nickel exprimée en centièmes. Cette formule a été établie sur des alliages contenant de 28 à 40 0/0 de nickel [1].

Dilatation. — La dilatation de la plupart des alliages étudiés a été mesurée à l'aide du comparateur du Bureau international. Toutefois il a paru intéressant de pousser les recherches à des températures bien supérieures à celles que permet d'atteindre le comparateur, tout en sacrifiant une partie de la précision des résultats. Pour ces mesures, j'ai employé la méthode des dilatations relatives sous sa forme la plus simple.

Une règle de laiton, munie à l'une de ses extrémités d'une petite réglette à biseau portant une division, est fixée par l'autre extrémité, au moyen d'une forte vis, à la règle dont on veut connaître la dilatation. La réglette empiète sur la règle, qui porte, en regard de la division, un trait servant d'index. Les deux règles sont libres de se dilater, et leurs changements relatifs de longueur sont donnés par le mouvement de la réglette devant l'index. Les règles sont introduites dans une chaudière verticale en laiton, remplie d'huile et munie d'un agitateur et d'un thermomètre. La chaudière, entourée d'un manchon d'air, est placée sur un fourneau à gaz. On lit, à l'aide d'un micromètre, les déplacements relatifs de l'index et de la division.

Ce procédé a été appliqué à l'étude de quelques alliages irréversibles, dont j'ai déterminé la dilatation après les avoir soumis à une transformation de plus en plus complète. J'ai vérifié ainsi le phénomène signalé par M. A. Le Chatelier, qui a trouvé une dilatation beaucoup plus faible pour un même alliage à l'état magnétique qu'à l'état non magnétique. Les divers alliages que j'ai examinés m'ont permis, en outre, de constater que la transformation est graduelle pour la dilatation comme pour le magnétisme, et qu'un même alliage

---

[1] Les expériences avec des barreaux courts soumis à un champ magnétique intense et non uniforme avaient donné des efforts d'arrachement à peu près constants jusqu'à une température de 50° environ inférieure à celle de la perte totale du magnétisme. Des recherches entreprises ultérieurement par M. E. Dumont, et dans lesquelles les alliages étaient soumis, sous forme de fils fins, à des champs magnétiques uniformes et peu intenses, ont montré, que la perméabilité des alliages irréversibles augmente graduellement lorsqu'on abaisse la température jusqu'à une grande distance du point de transformation totale. La discussion des expériences de M. Dumont conduit à admettre que tous les alliages de la deuxième catégorie possèdent une perméabilité approximativement égale à une même distance de leur température de transformation totale.

peut posséder une dilatation quelconque entre deux limites déterminées, suivant son degré de transformation. A l'un des états extrêmes, la dilatation est un peu supérieure à celle du laiton ; à l'autre état, elle est inférieure à celle des aciers ordinaires. Je reviendrai à une autre occasion sur l'ensemble des propriétés des aciers irréversibles.

A la température ordinaire, les aciers de la seconde catégorie possèdent une dilatation qui varie d'une manière continue avec la teneur ; pour les plus faibles teneurs, elle est un peu supérieure à celle du nickel, puis elle diminue graduellement lorsque la teneur augmente, passe par un minimum et remonte ensuite. *Les aciers contenant* 35 *à* 36 0/0 *de nickel se dilatent dix fois moins que le platine.* Le tableau suivant contient une partie des résultats trouvés [1].

Numéros des alliages	Teneurs pour 100 Ni	Coefficients de la dilatation moyenne entre 0° et Θ°
1	0	$(10{,}354 + 0{,}00523\Theta)\ 10^{-6}$
2	5	$(10{,}529 + 0{,}00580\Theta)$ »
3	19,0	$(11{,}427 + 0{,}00362\Theta)$ »
4	26,2	$(13{,}103 + 0{,}02123\Theta)$ »
5	27,9	$(11{,}288 + 0{,}02889\Theta)$ »
6	28,7	$(10{,}387 + 0{,}03004\Theta)$ »
7	30,4	$(4{,}570 + 0{,}01194\Theta)$ »
8	31,4	$(3{,}395 + 0{,}00885\Theta)$ »
9	34,6	$(1{,}373 + 0{,}00237\Theta)$ »
10	35,6	$(0{,}877 + 0{,}00127\Theta)$ »

[1] Il serait illusoire de donner des chiffres précis pour des alliages irréversibles susceptibles d'exister à la température ordinaire sous des états différents, puisque leur dilatation dépend de leur degré de transformation. La courbe représentative de la valeur des dilatations en fonction des teneurs présente, si l'on s'en tient à la courbe des alliages refroidis seulement jusqu'à zéro, une partie lentement ascendante jusque vers 20 0/0, suivie d'un brusque relèvement qui atteint son maximum aux environs de 24 0/0. Mais cette dernière partie de la courbe s'abaisse pour faire suite à la première section, si l'on considère les alliages à l'état magnétique.

La dilatation des alliages de la deuxième catégorie dépend non seulement de la teneur en nickel, mais aussi des petites quantités de carbone, de silicium et de manganèse que contient l'alliage ; elle varie avec l'état d'écrouissage et diminue par une trempe à l'eau, qui adoucit beaucoup ces alliages. Le tableau ne contient qu'une partie des résultats trouvés.

Les alliages n°s 2, 3, 15, 16, sont certainement irréversibles, mais leur passage à l'état magnétique est presque complet à la température ordinaire. Le n° 17 n'est pas magnétique à la température ordinaire ; il passe à l'état magnétique dans l'air liquide d'après une expérience de M. Dewar.

Les limites de validité des formules du tableau dépendent des transformations des alliages, comme il sera dit plus loin.

Numéros des alliages	Teneurs pour 100 Ni	Coefficients de la dilatation moyenne entre 0° et Θ°
11	37,3	$(3,457 - 0,00647\Theta)\ 10^{-6}$
12	39,4	$(5,357 - 0,00448\Theta)$ »
13	44,4	$(8,508 - 0,00251\Theta)$ »
14	100,0	$(12,661 + 0,00550\Theta)$ »
15	12,2 + 1Cr	$(11,714 + 0,00508\Theta)\ 10^{-6}$
16	16,8 + 1Cr	$(11,436 + 0,00170\Theta)$ »
17	16,2 + 2,5Cr	$(19,496 + 0,00432\Theta)$ »
18	21,3 + 3Cr	$(18,180 + 0,00426\Theta)$ »
19	34,8 + 1,5Cr	$(3,580 - 0,00132\Theta)$ »
20	35,7 + 1,7Cr	$(3,373 + 0,00165\Theta)$ »
21	36,4 + 0,9Cr	$(4,433 - 0,00392\Theta)$ »

En dehors des valeurs tout à fait anormales des dilatations de tous les alliages contenant de 29 à 45 0/0 de nickel, on remarquera que le deuxième terme des formules suit une marche systématique. Très fort pour les premiers alliages réversibles, il diminue ensuite et devient même négatif, passe par un minimum et remonte ensuite vers une valeur nulle. Il existe donc deux alliages, l'un voisin des moins dilatables, l'autre contenant environ 45 0/0 de nickel, pour lesquels la dilatation est constante entre des limites étendues de la température.

Il était intéressant de chercher si la perte du magnétisme correspond à un changement dans la loi de dilatation des alliages réversibles. Dans ce but, la dilatation des alliages les plus importants a été déterminée entre 0° et 220°. J'ai mesuré un grand nombre de différences des deux règles, acier et laiton à des températures choisies de manière à ce que le phénomène fût suffisamment caractérisé. Pour quelques règles, le nombre des mesures a dépassé 40 ; on s'est contenté d'un nombre moindre d'observations lorsque la loi des dilatations se présentait sous une forme simple. En général, les valeurs trouvées en montant et en descendant ont montré une très bonne concordance. Toutefois la faible conductibilité thermique de la plupart de ces alliages obligeait à attendre un temps prolongé à chaque température avant de commencer les mesures ; lorsque l'observation suivait de trop près l'établissement de la température, la règle d'acier était en retard sur la règle de laiton. Ces mesures, pour lesquelles on chauffait un bain d'huile ayant plus d'un mètre de hauteur, exigaient une surveillance assidue. M. L. Maudet m'a aidé, avec beaucoup de dévouement, dans ces expériences souvent très pénibles.

La différence de longueur des règles en fonction de la température, déduite de ces mesures, commence par une ligne faiblement courbée vers le haut ou vers le bas, suivant les teneurs, conformément à ce qu'ont donné les mesures au comparateur. Puis, lorsque l'alliage atteint la fin de la transformation magnétique, l'inclinaison de la courbe s'accentue beaucoup, et lorsque l'alliage a passé à l'état faiblement magnétique, la courbe se rapproche d'une droite, mais dont l'inclinaison est beaucoup plus grande que celle du segment inférieur à la transformation.

Il est naturellement assez difficile de déterminer le point exact où la loi de dilatation se modifie ; mais on peut, en s'aidant de constructions graphiques, établir des formules qui, employées successivement entre des limites déterminées, représentent avec une approximation suffisante, les dilatations depuis le point de départ. Comme ces formules ne partent pas de 0°, le mode le plus simple de représentation est celui des dilatations vraies. L'ensemble des dilatations vraies pour un même alliage est représenté par trois droites différemment inclinées, et se faisant suite. Le tronçon moyen, correspondant à la fin de la transformation, est de beaucoup le plus incliné.

Voici, à titre d'exemple, quelques-unes des formules trouvées.

Numéros des alliages	Teneurs en nickel pour 100	Limites	Dilatations vraies à Θ°
7	30,4	de 0° à 110°	$[4,570 + 0,0235\ (\Theta - 0)]\ 10^{-6}$
		110° à 164°	$[7,15 + 0,104\ (\Theta - 110)]$ »
		164° à 220°	$[12,60 + 0,008\ (\Theta - 164)]$ »
	31,4	0° à 122°	$[3,395 + 0,0150\ (\Theta - 0)]$ »
		122° à 182°	$[5,25 + 0,128\ (\Theta - 122)]$ »
		182° à 220°	$[13,00 + 0,036\ (\Theta - 182)]$ »
9	34,6	0° à 142°	$[1,373 + 0,0047\ \Theta - 0]$ »
		142° à 220°	$[2,05 + 0,065\ (\Theta - 142)]$ »

Pour les alliages contenant de 39 à 45 0/0 de nickel, je n'ai pas pu atteindre les températures auxquelles la loi des dilatations se modifie. Les formules trouvées par les mesures au comparateur représentent suffisamment les résultats des déterminations faites par ces alliages entre 0° et 220°.

L'alliage contenant 37,3 0/0 de nickel a montré une petite modification de la loi des dilatations déjà avant la fin de la transformation magnétique. On peut, en effet, représenter les mesures entre

0° et 220° par les deux formules suivantes :

De 0° à 150°	$[3,457 - 0,0072\ (\Theta - 0)]\ 10^{-6}$	
150° à 220°	$[2,37 + 0,011\ (\Theta - 150)]$	»

Propriétés mécaniques. — Les propriétés mécaniques des aciers au nickel ont été étudiées jusqu'ici surtout en vue de leurs applications industrielles. M. J. Hopkinson a montré que les alliages irréversibles sont beaucoup plus durs et moins déformables à l'état magnétique qu'à l'état non magnétique. La limite de déformation permanente est aussi beaucoup plus élevée au premier état qu'au dernier. Les fils d'acier à 24 0/0 de nickel sont assez semblables à des fils de laiton bien recuit lorsqu'ils sont à l'état non magnétique, tandis que dans l'autre état ils permettent de faire des ressorts analogues à ceux d'acier trempé.

La densité augmente avec la teneur en nickel, suivant une loi qu'il n'est pas aisé de mettre en évidence. Cependant, si l'on rapporte les densités à ce qu'elles devraient être d'après la loi des mélanges, on trouve un léger excès pour les alliages très dilatables, et un défaut pour les alliages les moins dilatables. Entre 26 et 40 0/0 de nickel, les densités sont toutes comprises entre 8,0 et 8,1 ; la plupart sont supérieures à 8,05.

Les modules d'élasticité montrent une allure plus systématique, comme l'indique le tableau suivant :

Alliages	Modules d'élasticité en tonnes par millimètre carré
5 pour 100 Ni	21,70
15,5 »	19,08
19,0 »	17,66
24,1 non magnétique	19,31
24,1 magnétique	17,42
26,2 pour 100 Ni	18,54
27,9 »	18,06
30,4 »	15,96
31,4 »	15,54
34,6 »	15,36
35,2 (1) »	14,86
37,2 (2) »	14,61
39,4 »	15,12
44,3 (2) »	16,30

(1) Moyenne de dix règles.
(2) Moyenne de deux règles.

Alliages	Modules d'élasticité en tonnes par millimètre carré
12,2 + 1,0Cr	18,97
16,2 + 2,5Cr	19,61
16,8 + 1,0Cr	18,25
34,8 + 1,5Cr	15,47
35,7 + 1,7Cr	15,66
36,4 + 0,9Cr	15,67

On voit, en comparant ce tableau avec celui des dilatations, que les plus fortes dilatations correspondent à un maximum relatif du module d'élasticité, alors que les plus faibles se produisent pour les alliages présentant la valeur minima du module. Il est remarquable que des alliages de nickel et d'acier bien homogènes et parfaitement élastiques puissent posséder un module d'élasticité qui est de plus d'un tiers inférieur à celui de la moyenne de ceux des composants.

Dans leur transformation irréversible les alliages du premier groupe éprouvent aussi une modification importante de leur module d'élasticité. En passant de l'état non magnétique relativement mou et très déformable à l'état magnétique dur et très élastique, ils subissent une *diminution* du module qui dépasse le dixième de la première valeur.

Le chrome augmente les modules pour les deux catégories d'alliages.

Je reviendrai, à une autre occasion, sur les variations qu'éprouve le module sous l'action de la température dans les divers alliages étudiés.

Déformations permanentes. — Les transformations des aciers au nickel permettaient de prévoir une certaine instabilité dans leurs propriétés. On a trouvé, en effet, que, sous l'action du temps, et plus encore par l'effet du recuit, ces alliages subissent des variations de dimension qui, pour quelques-uns d'entre eux, sont assez importantes.

Les alliages du premier groupe, chauffés au-dessus de la température à laquelle ils ont subi une augmentation de volume, se contractent légèrement, accusant un léger retour en arrière avant la transformation inverse qui se produit au rouge.

Les alliages de la seconde catégorie, au contraire, s'allongent sous l'action de certains recuits suivant des lois complexes qu'il eût été difficile d'élucider si l'on n'avait eu pour guide les variations aujour-

d'hui bien connues du verre, avec lesquelles les variations de volume des aciers au nickel présentent la plus frappante analogie.

Lorsqu'une barre d'un alliage réversible a été refroidie à l'air après le forgeage, elle éprouve, à toute température inférieure à celle qu'elle vient de subir, un allongement dont la vitesse dépend de la température actuelle et du traitement antérieur qu'a subi la barre. Plus la température est élevée, plus le mouvement est rapide au début, mais plus aussi l'allongement définitif est faible. Lorsqu'une barre a été complètement recuite à une température déterminée, de façon à ne plus éprouver aucun allongement, elle recommence son mouvement, si on l'amène à une température plus basse. Ce mouvement finit à son tour par s'arrêter et reprend lorsqu'on abaisse encore la température. Inversement, lorsqu'une règle est complètement recuite à une température basse, elle revient en arrière lorsqu'on la chauffe. Comme pour le verre, les mouvements sont plus rapides à température ascendante qu'à température descendante.

Il est important de remarquer que la rapidité et l'amplitude de tous ces mouvements dépendent de la distance à laquelle l'alliage se trouve de la température de la perte totale du magnétisme. Au-dessous de cette température, la stabilité est d'autant plus grande que l'on en est plus éloigné. Pour un même alliage, les mouvements se ralentissent en effet à mesure que la température s'abaisse ; de plus, pour les alliages magnétiques, la stabilité à une même température augmente rapidement avec la teneur en nickel.

Les variations de ces alliages les rendraient impropres à une foule d'applications que leur faible dilatation rendrait désirables si les mouvements dont il vient d'être question étaient de grande amplitude. Mais un exemple montrera que ces alliages, s'ils ne peuvent encore prétendre à fournir la matière des règles étalons de premier ordre, sont assez stables pour être susceptibles de nombreuses applications.

Une barre de l'alliage le moins dilatable s'allonge, dans les cent premières heures de chauffe à 100°, de 0,00003 environ de sa valeur. Refroidie graduellement jusqu'à 40°, et maintenue pendant un mois à cette dernière température, elle gagne encore près de 0,00001. Puis, amenée à 20°, elle varie de 3 millionièmes en quatre mois. Enfin, à 10°, elle s'allonge de 2 millionièmes en cinq mois. A ce moment, la variation mensuelle est inférieure à un 1/2 millionième, et peut être considérée comme négligeable pour toutes

les applications où les dernières limites de la précision ne sont pas nécessaires, et dans tous les cas où l'on peut contrôler de temps en temps la valeur des étalons employés.

Cette variation de longueur subie en un mois par une règle d'acier au nickel est égale à celle d'une règle de laiton dont la température s'élève de un quarantième de degré. Un pendule subissant cette variation modifierait, en un mois, sa durée d'oscillation d'une quantité correspondant à 2 centièmes de seconde par 24 heures. Une variation de cet ordre de grandeur ne présente aucun inconvénient pour une horloge dont on peut déterminer l'état au moins une fois par mois.

Résistance électrique. — On sait que les aciers au nickel possèdent une résistance spécifique élevée. Je l'ai trouvée peu différente d'un alliage à l'autre, et comprise, pour tous ceux que j'ai étudiés, entre 80 et 90 microhms-centimètres.

Il était intéressant de voir si les relations trouvées entre les modifications magnétiques et les autres transformations que subissent ces alliages ont une action sur les variations de la résistance électrique. J'ai déterminé, pour cela, la résistance, à un grand nombre de températures comprises entre 20° et 150°, de quelques alliages choisis, de manière à faire ressortir les variations de cette nature, si elles se produisent. Les résultats de ces mesures, portés sur du papier quadrillé, n'ont pas laissé voir la moindre déviation d'une courbe générale, embrassant, pour chacun des alliages, tout l'intervalle des températures. Pour tous ces alliages la variation de la résistance a pu être représentée par une formule à deux termes, avec des erreurs résiduelles qui n'ont jamais présenté une allure systématique, et sont toujours restées très petites.

Voici les résultats trouvés pour quelques alliages.

Alliages	Coefficients moyens de la variation entre 0° et T°
22 Ni + 3Cr	$(784 - 0{,}13T)\ 10^{-6}$
26,2	$(844 + 0{,}01T)$ »
28,7	$(700 - 0{,}20T)$ »
30,4	$(897 - 0{,}43T)$ »
35,0	$(1561 - 1{,}69T)$ »
35,7	$(1611 - 1{,}68T)$ »

On peut remarquer que, pour tous ces alliages, le coefficient du second terme de la formule est toujours très petit, tandis que, dans l'intervalle des mesures, le coefficient de dilatation de plusieurs

d'entre eux varie du simple au double. On voit aussi que les plus grands coefficients de variation appartiennent aux alliages les moins dilatables. La variation de résistance avec la température semble donc bien indépendante des variations de volume.

Conclusions. — Je n'insisterai pas sur les applications possibles des aciers au nickel fondées soit sur leur variation irréversible de volume, soit sur les changements de leurs propriétés magnétiques à des températures relativement basses, soit surtout sur le fait que, grâce à cette singulière catégorie d'alliages, on possède aujourd'hui les moyens d'obtenir des corps métalliques doués de propriétés mécaniques remarquables, et dont la dilatation varie d'une manière continue depuis celle du laiton jusqu'à une valeur égale au dixième de celle du platine. Il me paraît plus important de coordonner les quelques faits déjà connus qui permettront plus tard, en connexion avec le grand nombre de ceux qui restent à découvrir, d'établir une théorie générale des aciers au nickel.

Il semble, au premier coup d'œil, y avoir discontinuité entre les alliages irréversibles et les alliages réversibles, qui sont séparés par la teneur correspondant sensiblement à la formule Fe^3Ni.

Mais, si l'on considère l'une des propriétés des alliages de la deuxième catégorie, pour l'ensemble des températures, la dilatation par exemple, on voit que, pour les alliages les plus voisins des irréversibles, cette quantité varie dans des proportions considérables avec la température. Ainsi, entre 0° et 200°, la dilatation de l'alliage à 26,2 0/0 de nickel passe de 13,1 à 18,5 millionièmes, et l'analogie avec les alliages d'une teneur immédiatement supérieure, aussi bien que l'existence d'un deuxième terme important dans la formule de dilatation, nous indique que la dilatation diminue encore sensiblement au-dessous de zéro, tandis que cet alliage passe à l'état magnétique. Or nous avons vu que les alliages irréversibles peuvent posséder une dilatation comprise entre 10 et 19 millionièmes, suivant leur état. Nous pouvons donc, en amenant un alliage de la deuxième catégorie à un état particulier au point de vue magnétique, lui donner une dilatation égale à celle d'un alliage de la première catégorie amené aussi à un état particulier. Les limites supérieures des dilatations que l'on obtient sont sensiblement les mêmes, et il est probable que les limites inférieures sont peu différentes.

On peut donc, en choisissant convenablement l'état magnétique des alliages voisins de la séparation, établir un passage continu dans

les dilatations, les valeurs élevées correspondant dans les deux cas à l'état non magnétique et les valeurs faibles à l'état magnétique. La seule différence consiste en ce que l'un des réseaux est réversible, l'autre irréversible. Le même raisonnement s'applique à l'élasticité.

Les propriétés des alliages irréversibles aident à comprendre l'anomalie négative de dilatation, qui se manifeste à partir de 28 0/0 de nickel. Nous avons vu que, pour les premiers, le passage à l'état magnétique a lieu avec augmentation du volume. Si l'on admet que le même passage produit aussi une augmentation de volume moléculaire dans les alliages de la seconde catégorie, on comprendra comment l'ensemble peut, en se refroidissant, se contracter beaucoup moins que chacun des composants considérés isolément.

Les déformations permanentes semblent indiquer qu'il en est bien ainsi. Nous avons vu, en effet, qu'un alliage, amené rapidement d'une température élevée à une température basse, subit une certaine contraction, puis commence immédiatement à se dilater jusqu'à ce qu'il ait atteint son état définitif à la nouvelle température. L'établissement de cet état dure, pour les alliages les moins dilatables, une centaine d'heures à 100°, et semble à peu près terminé au bout de dix mois à la température ordinaire. Ce mouvement est le résidu du mouvement de dilatation interne dont la plus grande partie se produit en même temps que la température s'abaisse, tandis qu'une très faible partie se poursuit au-delà de cette période.

On peut affirmer que la transformation caractérisée par les modifications magnétiques ou par l'anomalie de dilatation est d'ordre chimique ; et l'on est conduit à admettre que les composés fer-nickel possèdent, à chaque température un équilibre bien défini, vers lequel ils tendent et qui peut être réversible ou irréversible suivant les teneurs. La stabilité de l'alliage dépend en particulier de ses relations avec un composé défini. Ainsi l'alliage irréversible qui conserve le plus longtemps son état non magnétique semble être le plus voisin du composé Fe^3Ni. Les alliages plus pauvres en nickel sont des solutions réciproques de cet alliage et de fer pur, et la présence de ce dernier métal atténue les propriétés caractéristiques du composé, qui résiste d'autant plus mal à la transformation qu'il contient plus de fer.

Dans l'intervalle de température où ils peuvent exister sous les deux états, les alliages du premier groupe sont en faux équilibre ; ceux du second groupe, au contraire, tendent, à toute température,

vers l'état définitif et stable correspondant à cette température. Lors de l'établissement de la température, l'alliage arrive tout près de l'équilibre, mais il ne l'atteint qu'après un temps plus ou moins long.

Cette théorie chimique des déformations permanentes des aciers au nickel conduit à établir une théorie analogue pour les déformations du verre, dont la cause serait ainsi ramenée à une transformation suivant la température des combinaisons dont la stabilité varie pour chacune d'elles. Le recuit prolongé à température élevée aurait pour effet une migration de certains éléments, et la formation définitive de composés stables aux dépens des composés instables qui existeraient dans la masse en quantité de plus en plus faible suivant l'état d'avancement du recuit (1).

Sur la résistance électrique du réostène;

Par M. Edm. Van Aubel (2).

M. W.-T. Glover, de Salford, Manchester, a réalisé, l'année dernière, un nouvel alliage pour résistances électriques auquel il a donné le nom de réostène. Cet alliage, dont la composition exacte reste inconnue, est un acier au nickel; il se brase avec facilité et se soude à la soudure ordinaire.

Les importantes recherches de M. Ch.-Ed. Guillaume (3) sur les qualités des aciers-nickels pour les usages de la métrologie m'engagent à faire connaître les résultats des essais que j'ai entrepris à mon laboratoire sur la résistance électrique du réostène (4).

La densité du nouvel alliage a été déterminée à l'aide de la balance hydrostatique, réduite à l'eau à 4° et au vide; elle est égale à 7,8991.

---

(1) Cette théorie des déplacements du zéro, à laquelle j'ai été conduit par l'analogie avec les variations des aciers au nickel est bien d'accord, entre autres, avec les récentes recherches de M. L. Baudin sur le recuit des thermomètres. Cet habile constructeur est arrivé, suivant une communication personnelle, et d'une façon indépendante, à une théorie semblable par la seule considération des déplacements du zéro des thermomètres.

(2) Séance du 2 juillet 1897.

(3) *Comptes Rendus*, 25 janvier et 5 avril 1897.

(4) Au sujet du réostène, voir aussi Dr J.-A. Harker et A. Davidson, *Report of the British Association for the Advancement of Science*, 63e meeting. Liverpool, 1896.

Pour les mesures des résistances électriques, une longueur suffisante de réostène a été enroulée en spirale dont les deux extrémités ont été soudées à des tiges de cuivre.

La spirale plongeait dans un bain de pétrole ; celui-ci était successivement placé dans la glace fondante, dans un grand bac contenant de l'eau à la température du laboratoire, dans de la vapeur d'acétone ou d'alcool éthylique et enfin dans l'eau bouillante.

Avant de faire les mesures, le fil de réostène a été « vieilli ». A cet effet, la spirale étant dans le bain de pétrole, on chauffe celui-ci pendant plusieurs heures dans l'eau bouillante, puis on laisse refroidir lentement et on recommence à nouveau l'opération.

Voici les résultats que nous avons alors obtenus en utilisant un pont de Wheatstone-Kirchhoff cylindrique, modèle du professeur F. Kohlrausch, construit par la maison Hartmann et Braun.

Résistivité du réostène à 0°,44.....	77,07 microhms-centimètres
Coefficient de variation de la résistance électrique avec la température :	+ 0,00119 de 0°,44 à 14°,47 + 0,00116 de 15°,6 à 57° + 0,00114 de 57° à 74°,1 + 0,00098 de 74°,1 à 100°,5

Rappelons les résistivités qui ont été trouvées pour d'autres alliages :

Métaux	Résistivités en microhms-centimètres	Coefficients de température
Maillechort.....	20,76 à 0°	0,00044
Manganine.....	34,0	0
Constantan.....	50,0	0
Ferro-nickel.....	78,3 à 0°	0,00093
Kruppine.....	85,5 à 20°	0,0007
Mercure liquide.....	94,34 à 0°	0,00072
Fer.....	9,656 à 0°	0,0050
Nickel.....	12,356 à 0°	0,0050

Ces valeurs montrent que le réostène a une résistivité très grande, supérieure à celle de ses constituants, et présente cette particularité surtout intéressante que le coefficient de température est sensiblement constant entre 0° et 74°. Cette propriété n'existe pas pour d'autres alliages.

Nous avons constaté aussi, en mesurant à nouveau la résistance électrique à 0°, que celle-ci n'avait pas changé ; le réostène ne donne donc lieu à aucun résidu appréciable, comme certains autres alliages. Le réostène fabriqué en fil mince pourra souvent être avantageuse-

ment utilisé pour la mesure des températures par la variation de la résistance électrique entre 0° et 74° [1].

Nouvelles observations de M. Röntgen sur les propriétés des rayons X;

Par M. C. Raveau [2].

1. L'air traversé par des rayons X émet lui-même des rayons X. M. Röntgen le démontre en faisant tomber un pinceau de rayons sur un système de deux lames de plomb placées l'une derrière l'autre, de façon que leurs bords, vus du point d'émission, semblent se recouvrir; un écran au platinocyanure s'appuie sur la lame postérieure. Quand les rayons tombent sur la première lame seule, l'écran ne présente aucune fluorescence; mais si, en inclinant le faisceau, on laisse les rayons dépasser le bord de la première lame, on voit l'écran s'illuminer sur la région qui n'est pas protégée par la seconde.

Le système est renfermé dans une cloche; quand on raréfie l'air, la fluorescence s'affaiblit graduellement, pour reprendre son intensité quand la pression se relève. Comme le simple contact de l'air qui vient d'être exposé aux rayons n'excite aucune fluorescence du platinocyanure de baryum, le résultat formulé ci-dessus se conclut nécessairement. Ces nouveaux rayons X impressionnent les plaques photographiques; on ne sait pas encore si leur nature est la même que celle des rayons incidents ou en diffère, c'est-à-dire s'ils sont produits par un phénomène analogue à la diffusion ou à la fluorescence.

2. Après avoir décrit un appareil analogue au photomètre de Bouguer pour la comparaison des intensités des rayons X au moyen de la fluorescence, M. Röntgen énumère les causes qui déterminent l'intensité de ce phénomène; la comparaison de deux tubes producteurs de rayons X est analogue à celle de deux sources intermittentes,

---

(1) Ce travail était déjà remis à l'impression lorsque parut dans les *Comptes Rendus*, 26 juillet 1897, p. 235, un nouveau mémoire de M. Ch.-Ed. Guillaume sur les propriétés des aciers-nickels. Ce physicien, qui a étudié la résistivité de ces alliages entre 20° et 150°, trouve qu'elle varie entre 80 et 90 microhms-centimètres, et peut être représentée en fonction de la température par une fonction du second degré, où le terme du second degré est petit.

(2) Séance du 16 juillet 1897.

diversement colorées, entourées d'une enveloppe absorbante et placées dans un milieu trouble ou fluorescent.

3. L'influence de l'obliquité sur l'intensité des rayons émis a été déterminée par des expériences permettant la comparaison directe des intensités de la fluorescence excitée par des rayons provenant de diverses directions et par l'étude de l'impression photographique produite sur une pellicule demi-circulaire ayant pour centre l'anode.

On a pris soin de compenser, par l'interposition de petites lames de verre, les inégalités d'épaisseur des parois des tubes. L'intensité est constante jusqu'à un angle d'émission de 80°, elle décroît alors légèrement; la seule variation notable apparaît entre 89° et 90°. Un fait analogue se produit dans la fluorescence ; les filets auxquels donne naissance une goutte de fluorescéine qu'on jette dans l'eau présentent un éclat maximum sur leurs bords, ce qui tient à l'absorption beaucoup plus énergique qu'exerce le liquide sur la lumière incidente que sur les radiations de fluorescence. De même, l'anode de platine est beaucoup plus transparente aux rayons X qu'aux rayons cathodiques ; M. Röntgen voit dans ce rapprochement une probabilité en faveur d'une parenté des deux phénomènes.

4. La « transparence » d'un corps a été déterminée à l'aide du photomètre. On obtient les mêmes résultats quand on compense, soit dans un sens, soit dans l'autre, l'inégalité d'éclat que produit entre les deux plages l'interposition d'un corps absorbant. On a vérifié que la loi de l'inverse du carré de la distance s'applique à un degré d'approximation suffisant.

La transparence *spécifique* d'un corps, c'est-à-dire la racine $l^{\text{ième}}$ de la transparence d'une lame d'épaisseur l, est d'autant plus grande que l est plus grand.

5. En juxtaposant deux échelles de platine et d'aluminium, on a constaté, dans un cas, qu'une feuille de platine équivaut à six feuilles d'aluminium, tandis que deux feuilles de platine sont aussi opaques que seize épaisseurs d'aluminium.

6. Pour mettre en évidence les variations relatives de transparence, M. Röntgen a découpé dans une lame de platine de $0^{mm},0026$ d'épaisseur quinze trous circulaires qu'il a fermés respectivement par un, deux, quinze disques d'aluminium de $0^{mm},0299$. L'interposition d'un corps quelconque change le rang de la fenêtre à laquelle l'aluminium est aussi transparent que le platine ; par exemple, une lame de verre de soude de 2 millimètres fait passer l'égalité de la

fenêtre 5 à la fenêtre 10. En impressionnant douze pellicules photographiques superposées, on trouve que l'égalité se produit sur la première à la fenêtre 13, sur la dernière à la fenêtre 10.

7. Des rayons X émanant de différents tubes ne sont pas absorbés également par un même corps. Tous les corps étudiés, en très grand nombre, sont moins transparents aux rayons d'un tube doux (*weich*), c'est-à-dire fonctionnant avec une faible distance explosive, qu'à ceux d'un tube dur (*hart*). Le rapport des transparences des deux corps varie également avec la nature du tube, l'opacité relative des corps très absorbants allant en diminuant, quand la dureté du tube augmente.

8. Décrivant les propriétés successives que présentent les rayons émis par un tube dans lequel on fait le vide progressivement, M. Röntgen observe que l'interposition d'une distance explosive ou l'intercalation d'un transformateur Tesla donne au tube des propriétés correspondant à un vide plus élevé. Partant de cette remarque, il a pu, avec le transformateur Tesla, obtenir des rayons X sous une pression qui atteignait $3^{mm},1$ dans l'air et dépassait cette valeur dans l'hydrogène. Il n'a pas pu déterminer la limite inférieure, qui est certainement au-dessous de $0^{mm},0002$.

M. Röntgen pense que la composition des rayons dépend essentiellement de la forme du courant de décharge, les autres circonstances n'agissant que pour déterminer cette forme. La variation du courant primaire amène une variation à peu près proportionnelle de l'intensité des rayons, sans variations notables d'intensité.

9. Après avoir résumé les faits précédents, M. Röntgen rappelle les propriétés communes aux rayons cathodiques et aux rayons X, et insiste sur les différences, qu'il ne considère pas comme essentielles. En effet : 1° il existe probablement des rayons X auxquels les métaux offrent une opacité encore plus grande qu'à ceux qu'émettent les tubes les plus doux que nous sachions utiliser, et qui se rapprocheraient par là de plus en plus des rayons cathodiques ; 2° on diminuerait la distance en opérant, comme l'a fait Lenard pour les rayons cathodiques, sur des lames de métal très minces, qui sont relativement moins transparentes.

10. Des radiations qui excitent la fluorescence avec la même intensité exercent des actions photographiques différentes ; les rayons émis par un tube dur semblent moins actifs ; il ne faut pas oublier, dans la discussion de ces expériences, que l'écran et la plaque photographique sont transparents. Il y aurait lieu de chercher à obtenir

des couches sensibles qui utilisent plus complètement les rayons X.

11. M. Röntgen termine en notant quelques particularités. Les rayons X ne proviennent pas seulement du point de concours des rayons cathodiques ; l'anode tout entière en produit, quoique avec une intensité beaucoup plus faible ; il en vient également des points de l'axe de la cathode situés au-delà de l'anode.

Des essais faits sur des lames de plusieurs cristaux, spath, quartz, tourmaline, émeraude, arragonite, apatite et barytine, n'ont montré aucune influence de l'orientation sur la transparence.

Avec un tube dur on vérifie le fait, annoncé par M. Brandes, que les rayons X peuvent impressionner la rétine. En déplaçant lentement devant l'œil une fente étroite taillée dans une plaque de métal, on distingue une faible bande lumineuse, qui, de rectiligne, devient circulaire.

Enfin de très nombreux essais tentés pour produire la diffraction des rayons X sont restés infructueux.

Sur l'observation et l'interprétation cinématique des phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman ;

Par M. A. Cornu (1).

Les phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman, relatifs à l'action d'un champ magnétique sur les radiations émises par diverses sources lumineuses, ont donné lieu à quelques confusions qui me paraissent résulter de l'imperfection optique des modes d'observation. Les dispositifs suivants donnent une grande netteté à ces phénomènes et ne laissent aucun doute sur les conclusions définitives énoncées par l'auteur de la découverte (2).

La source lumineuse est la flamme d'un chalumeau oxhydrique léchant un fragment d'amiante imbibé de chlorure de sodium fondu, ou bien l'étincelle d'induction jaillissant entre deux électrodes métalliques ; elle est placée entre les deux pôles d'un électro-aimant produisant un champ magnétique intense.

---

(1) Séance du 5 novembre 1897.

(2) Dr P. Zeeman, *Doublets and triplets in the spectrum produced by External Magnetic Forces* (*Philos. Magazine*, for july 1897, p. 55 ; for september 1897, p. 255). — *Journ. de Phys.*, 3e série, t. VI, pp. 143, 655 ; 1897.

Une fente verticale placée près de la source lumineuse, ou dans le plan d'une image focale de cette source, dirige le faisceau sur un réseau concave Rowland de 10 pieds de foyer, qui résout en raies brillantes le spectre de la source. Ce sont les raies spontanément renversables qui paraissent surtout déceler le phénomène.

Premier dispositif. — L'observation de l'une de ces raies se fait dans le plan focal d'un oculaire où l'on fixe une aiguille d'acier normalement aux raies spectrales. En arrière de l'oculaire est placé un prisme biréfringent de Wollaston (1) qui dédouble l'image de l'aiguille ; le diamètre de cette aiguille, d'ailleurs légèrement conique, est choisi de manière que les deux images aient un bord commun. On obtient ainsi deux plages contiguës polarisées, l'une parallèlement, l'autre perpendiculairement aux raies spectrales.

1° *Le faisceau est observé normalement aux lignes de force magnétiques.*

Les deux pôles de l'électro-aimant (bobines de Faraday, modèle ordinaire de Ruhmkorff), terminés par deux cônes arrondis, peuvent être rapprochés à 8 millimètres ou 10 millimètres, et l'on observe dans un plan perpendiculaire à la droite horizontale qui les joint.

On règle le prisme biréfringent de manière que les raies spectrales n'éprouvent aucune discontinuité sur la ligne de séparation des deux plages lorsque le champ magnétique est nul.

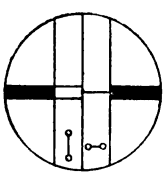


Fig. 1.

Dès qu'on excite l'électro-aimant, on voit la raie s'élargir ; mais dans les deux plages polarisées l'aspect de la raie est modifié (*fig.* 1).

Dans la plage polarisée parallèlement aux lignes de force (ligne des pôles) la raie est dédoublée, c'est-à-dire présente une ligne sombre en son milieu ; dans l'autre elle est, au contraire, amincie et

(1) Un rhomboïde de spath pourrait, à la rigueur, remplacer le prisme de Wollaston ; mais il y aurait quelques précautions à prendre pour éviter l'effet de *parallaxe* provenant de l'inégalité de distance des plans de vision des deux images.

se trouve exactement sur le prolongement de la ligne sombre précitée [1].

L'inversion du pôle magnétique ne change en rien l'aspect du phénomène.

On en conclut que chaque raie simple primitive, non polarisée, est transformée en un triplet dont les composantes extérieures sont complètement polarisées parallèlement aux lignes de force et dont la composante intérieure est complètement polarisée dans un plan perpendiculaire. Le champ magnétique produit donc deux altérations de la période primitive, respectivement égales et de signe contraire, pour constituer les deux vibrations normales aux lignes de force, sans modifier celle de la vibration parallèle à ces lignes.

2° *Le faisceau est observé parallèlement aux lignes de force.*

L'une des armatures polaires est percée, suivant la ligne des pôles, pour livrer passage à la lumière suivant la direction des lignes de force.

Pour faire l'observation, on introduit entre l'oculaire et le prisme biréfringent une lame de mica quart-d'onde dont les sections principales sont à 45° de celles du prisme. Dès que le champ magnétique est excité, on voit sur les deux plages la raie s'amincir et se briser sur la ligne de séparation (*fig.* 2).

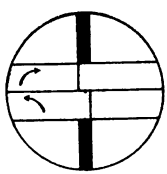


Fig. 2.

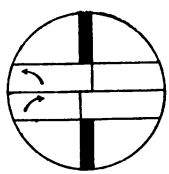


Fig. 3.

Si l'on tourne la lame quart-d'onde d'un angle droit, la brisure se fait en sens inverse (*fig.* 3).

L'inversion des pôles intervertit le sens de la brisure. On reconnaît, en outre, que le milieu des deux raies ainsi produites occupe sensiblement la position de la raie primitive : les deux altérations de la période sont donc égales et de signe contraire.

On rend le phénomène encore plus visible en fixant côte à côte, sur

---

(1) Lorsqu'on opère avec la lumière de la soude, chaque raie D_1, D_2 peut être plus ou moins *renversée*, c'est-à-dire plus ou moins dédoublée ; il en résulte une complication apparente, mais qui ne change pas le caractère essentiel du phénomène.

une même glace, deux lames quart-d'onde à sections homologues rectangulaires; un petit mouvement alternatif de translation imprimé à ces lames donne alternativement les deux apparences précitées. Un rythme convenable accroît encore la sensibilité de la méthode; car, lorsque l'œil fixe la raie de l'une des plages, le déplacement relatif de la raie correspondante de l'autre plage se trouve *physiologiquement* doublé.

Ces apparences prouvent que l'action du champ magnétique dédouble chaque radiation en deux faisceaux polarisés circulairement de sens inverse, le renversement des pôles renversant le sens de la rotation des vibrations circulaires.

En déterminant le sens de la rotation de chacun de ces faisceaux [1], on parvient à résumer l'ensemble des résultats dans l'énoncé très simple que nous donnons plus loin.

Second dispositif. — Au lieu d'un long prisme biréfringent de Wollaston (nécessaire pour obtenir deux plages suffisamment larges) on peut utiliser un simple prisme de Nicol; le double champ s'obtient alors avec des lames de mica convenablement choisies et orientées.

1° *Faisceau observé normalement aux lignes de force.*

Dans le plan de l'oculaire on place deux lames *demi-onde*, réglées sur la réfrangibilité de la raie brillante employée [2].

La lame supérieure a ses sections principales parallèles ou perpendiculaires à la direction des raies spectrales, la lame inférieure à $\pm$ 45° de ces raies. Si la section principale du prisme de Nicol est parallèle ou perpendiculaire à cette direction, on obtient la même apparence (*fig.* 1) qu'avec le premier dispositif, parce que la seconde lame demi-onde fait tourner d'un angle droit les plans de polarisation des faisceaux qu'elle transmet.

2° *Faisceau observé parallèlement aux lignes de force.*

Dans le plan focal de l'oculaire on place deux lames *quart-d'onde;* la lame supérieure a ses sections principales à $+$ 45°, l'inférieure

---

(1) Cette détermination correcte n'est pas aussi facile qu'on pourrait le supposer; on risque de commettre des erreurs dont M. le Dr Zeeman lui-même a connu le danger (*loc. cit.*, p. 58). Dans une prochaine note je me propose d'indiquer diverses méthodes optiques qui permettent d'effectuer pratiquement et de vérifier ce genre de détermination.

(2) Le réglage correct de la biréfringence des lames de mica exige aussi des soins particuliers qui seront l'objet de quelques développements dans l'Appendice annoncé.

à — 45° de la direction des raies; le prisme de Nicol étant réglé comme précédemment, on obtient la même apparence (*fig.* 2) qu'avec le premier dispositif.

Si l'on veut produire le balancement rythmé, on dispose un second système en ordre inverse qu'on fixe à côté du premier dans l'ordre figuré comme il suit :

+ 45°	— 45°
— 45°	+ 45°

La translation alternative de ce système à droite et à gauche produit l'inversion et la duplication apparente si favorable à l'observation du phénomène.

Interprétation cinématique des phénomènes. — L'ensemble des phénomènes peut se résumer en un énoncé conforme aux règles de Fresnel et d'Ampère.

Voici d'abord les règles auxquelles il est fait allusion :

1° Un faisceau de lumière ordinaire est la superposition de deux faisceaux indépendants égaux en intensité et polarisés à angle droit (Fresnel);

2° Un faisceau polarisé rectilignement est la superposition de deux faisceaux égaux en intensité et polarisés circulairement en sens inverse (Fresnel) ;

3° Une ligne de force magnétique équivaut à l'axe d'un solénoïde dont le pôle austral est à la gauche du courant (Ampère).

L'action du champ magnétique sur l'émission d'une radiation tend à décomposer les composantes rectilignes vibratoires susceptibles de se propager par ondes suivant des vibrations circulaires parallèles aux courants du solénoïde.

Les vibrations qui tournent dans le sens du courant du solénoïde sont accélérées, celles qui tournent en sens inverse sont retardées.

On reconnaît immédiatement le doublet observé dans le sens des lignes de force.

Dans le sens perpendiculaire à ces lignes cet énoncé montre que la composante parallèle aux lignes de force (onde polarisée perpendiculairement à cette direction) est inaltérée: c'est la raie médiane du triplet ; les deux raies extérieures polarisées à angle droit de celle-ci sont plus difficiles à reconnaître. Cependant on aperçoit géo-

métriquement leur existence. En effet c'est ce qui subsiste des deux vibrations circulaires, l'une accélérée, l'autre retardée, en lesquelles le champ magnétique dédoublait la composante normale aux lignes de force ; il y a extinction ou compensation mutuelle des deux composantes longitudinales qui ne peuvent pas se propager (les deux ondes polarisées rectilignement sont produites par les vibrations circulaires de sens inverse, vues de *tranche*).

Cette interprétation purement cinématique, quoique un peu superficielle, montre que le phénomène découvert par M. le Dr Zeeman peut être expliqué par des considérations tout à fait indépendantes des idées électrochimiques de M. le professeur Lorentz, qui en sont l'origine, et se rapproche beaucoup des théories tourbillonnaires récemment remises en honneur.

Elle montre, en outre, la différence essentielle qui existe entre ce phénomène et celui du pouvoir rotatoire magnétique découvert par Faraday.

L'action du champ magnétique sur les sources où les ions sont pour ainsi dire à l'*état naissan* s'exerce sur la *période vibratoire*, tandis que, dans l'expérience de Faraday, elle s'exerce sur la *vitesse de propagation* d'ondes lumineuses ayant déjà acquis leur régime permanent.

Je me suis assuré, avec les mêmes dispositifs, que la rotation magnétique du plan de polarisation n'est accompagnée d'aucune variation sensible de la période vibratoire de la lumière monochromatique employée, tandis que j'ai démontré autrefois [1] que la vitesse de propagation des deux ondes circulaires est modifiée : l'une est accélérée, l'autre est retardée de quantités sensiblement égales dans le sens correspondant à la règle d'Ampère.

---

(1) *Comptes Rendus*, t. XCII, p. 1365. — Les phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman permettent d'étendre aux variations des périodes la loi conjecturale énoncée (*loc. cit.*, p. 1370) pour les variations des vitesses des deux ondes circulaires provenant du dédoublement d'une onde à vibration rectiligne.

Sur le mécanisme de la polarisation rotatoire magnétique ;

Par André Broca [1].

Dans l'étude qu'il vient de faire du phénomène de M. Zeeman, M. Cornu, après avoir établi les meilleures conditions de l'expérience, insiste sur ce point que sa production nécessite la présence, dans le champ magnétique, de la source lumineuse elle-même. Des essais faits pour voir si un résultat du même ordre n'aurait pas lieu quand le rayon polarisé traverse seulement le champ magnétique lui ont donné un résultat négatif. Ces essais ont été faits avec la liqueur de Thoulet.

Le même résultat négatif avait été obtenu, il y a vingt ans, par Tait [2]. Ces tentatives devaient être essayées d'après les idées de Maxwell sur la polarisation rotatoire magnétique. D'après celles-ci, le champ magnétique est dû à un mouvement tourbillonnaire autour des lignes de force du milieu qui transmet les actions magnétiques [3]. Ce seul fait permet d'expliquer l'addition des rotations pour un même rayon parcourant le champ d'abord dans un sens, puis dans l'autre, quel que soit le mode d'action du champ sur le rayon ; ceci résulte de simples considérations de symétrie. Il restait à savoir si la réaction du champ sur le rayon circulaire était de nature purement élastique, c'est-à-dire sans modification de la quantité d'énergie transmise, ou s'il y avait une modification de la quantité d'énergie lumineuse sous l'action du champ. Dans le premier cas la vitesse de propagation seule sera modifiée. M. Cornu [4] a montré qu'il y a effectivement une modification de la vitesse de la propagation. Il faut savoir si le second effet ne se produit pas.

Ce second effet peut se produire de deux façons : ou bien par une variation du rayon du cercle de trajectoire d'une molécule d'éther, ou bien par un retard ou une avance de la molécule restant sur sa même trajectoire. C'est de ce second effet que dépendrait le changement de période. J'ai cherché à montrer avec précision qu'il n'existe pas.

J'ai opéré d'abord avec la liqueur de Thoulet. La lumière employée était celle du soleil. La lumière était polarisée circulaire-

---

[1] Séance du 5 novembre 1897.

[2] *Sur une influence possible du magnétisme sur l'absorption de la lumière* (*Proc. Roy. Soc. of Edinburgh*, session 1875-1876, p. 118).

[3] Maxwell, *Électricité et Magnétisme*, t. II, p. 514 (traduction française).

[4] *Comptes rendus*, t. XCII, p. 1368.

ment avant de pénétrer dans le champ magnétique. L'électro-aimant était celui de Faraday, le courant était de 20 ampères, la cuve avait 1 centimètre cube d'épaisseur. La rotation était alors de 6 à 7°. L'appareil de dispersion était un réseau de Rowland de 3 mètres de rayon, 12 centimètres d'ouverture, $1^{\mu},73$ d'écartement de traits. Le pointé se faisait avec un oculaire micrométrique, on pouvait apprécier un déplacement de $\frac{1}{200}$ environ de la distance des deux raies D.

Dans ces conditions je n'ai rien observé. Il est aisé de voir qu'il devait en être ainsi. En admettant que toute la rotation soit due à la modification de force vive qui change la période, on voit que, 1 centimètre cube de liqueur de Thoulet donnant dans le champ employé environ 6° de rotation, ceci correspond à un retard de $\frac{1}{60}$ de période pour tout le parcours du rayon dans le champ magnétique, qui exige 30.000 périodes environ. Donc la période serait modifiée dans ce parcours de 5.10^{-7} environ de sa valeur. Je ne pouvais apprécier une aussi faible variation.

J'ai alors utilisé la propriété suivante du réseau : la formule de déviation est, en appelant α, α' les angles d'incidence et de diffraction, λ la longueur d'onde, e l'écartement des traits, m un nombre entier,

$$\sin\alpha + \sin\alpha' = \frac{m\lambda}{e},$$

d'où, pour α constant,

$$\frac{d\alpha'}{d\lambda} = \frac{m}{e\cos\alpha'}.$$

Donc, pour $\alpha' = 90°$, la diffraction étant rasante, la dispersion est infinie. J'ai opéré avec le sixième spectre et la région *b* du spectre solaire, qu'on peut amener à la diffraction rasante pour ce spectre. Un premier spectre peu étalé tombait sur la fente du réseau, permettant d'isoler le sixième spectre des précédents et suivants. La distance de la fente au réseau était réglée de manière que les lignes fussent à l'infini, et l'observation faite au moyen d'une lunette astronomique. Dans ces conditions aucun déplacement n'a pu être observé. Les images étaient moins bonnes et surtout plus difficiles à obtenir que dans le spectre normal, mais la dispersion était très considérable, car déjà sur le cinquième spectre les deux raies D amenées à la diffraction presque rasante ne pouvaient être ensemble dans le champ de la lunette.

J'ai ensuite pensé que, pour être sûr de l'absence complète du phénomène, il fallait s'adresser à un corps ayant un pouvoir rotatoire spécifique d'un autre ordre que la liqueur de Thoulet. C'est le cas du fer transparent, comme l'a montré Kundt. J'ai donc préparé des dépôts électrolytiques de fer transparent sur verre platiné, au moyen d'un bain d'oxalate double ferroso-potassique, aimablement préparé pour moi par M. A. Chassevant. Quelques précautions sont nécessaires relativement à la densité du courant et à la concentration. La rotation que j'ai pu obtenir avec ces lames a été, pour les points encore bien transparents, d'environ 30'. L'épaisseur, évaluée d'après les données de l'électrolyse, est de l'ordre de $0^{\mu},01$. Nous aurions donc, dans l'hypothèse d'une altération de période, un retard de $\frac{1}{720}$ de circonférence en $\frac{1}{30}$ de longueur d'onde, soit $\frac{1}{24}$ de période. La longueur d'onde, 0,589, devrait devenir 0,615 et 0,565 suivant le sens du courant.

La lumière étant très diminuée par l'absorption du fer, j'ai dû renoncer à la diffraction rasante et prendre les raies D. Le pointé se faisait moins bien, seulement à $\frac{1}{50}$ près de leur distance : la longueur d'onde se déterminait donc encore à $\frac{1}{50000}$ près de sa valeur. L'observation ne donnant rien, cela prouve que, s'il y a un retard ou une avance du mouvement vibratoire, ce phénomène produit au plus $\frac{1}{4000}$ de la rotation, car la variation produite par l'inversion du sens du courant serait de $\frac{1}{12}$.

Les expériences de M. Cotton [1] et de M. Righi avaient déjà montré qu'il n'y avait pas d'absorption lumineuse ni d'augmentation d'intensité dans le champ magnétique, sauf peut-être dans le cas du fer. Mes expériences permettent d'affirmer que, même dans ce cas, s'il y a absorption de lumière, elle se produit sans changement de période [2].

---

(1) Cotton, *Éclairage électrique*, t. VIII, p. 162 et 199.

(2) Le succès de l'application des équations de Lagrange aux phénomènes d'induction semble prouver que l'énergie du champ magnétique est de l'espèce cinétique. Cette énergie modifie les propriétés purement élastiques du champ pour les rayons circulaires et ne modifie que celles-là. Il semble donc que le champ magnétique prouve expérimentalement la possibilité de l'idée de Lord Kelvin. L'élasticité peut être due à un mode de mouvement [Lord Kelvin, *Conférences et allocutions* (traduction française, p. 93)].

Interrupteur à mercure pour les fortes bobines de Ruhmkorff;

Par MM. E. Ducretet et L. Lejeune [1].

L'interrupteur à lame vibrante de Neef ne peut être employé avec les fortes bobines de Ruhmkorff, parce que les étincelles de rupture qui jaillissent dans l'air au point où le contact est périodiquement établi et rompu, produisent un échauffement susceptible de détériorer rapidement les surfaces métalliques et d'empêcher, par suite, la marche régulière de la bobine de Ruhmkorff.

L'interrupteur de Foucault convient mieux pour produire l'interruption périodique du courant dans le circuit primaire des fortes bobines ; mais il est lent et, de plus, les mouvements obliques de la tige interruptrice, la forme étroite et les dimensions restreintes données généralement au godet contenant le mercure et l'alcool, provoquent la projection de ces deux liquides de tous côtés hors du godet, ce qui salit la bobine et amène fréquemment l'inflammation de l'alcool.

Ces mauvaises conditions de fonctionnement ne permettent pas l'emploi, pour les expériences de longue durée, de l'interrupteur Foucault qui ne peut, en outre, donner les variations de vitesse qu'exigent les opérations radiographiques et la fluoroscopie.

Le modèle que nous avons créé, représenté par la *fig.* 1, obvie à tous ces inconvénients; cet appareil dérive de ceux décrits par MM. Gordon et Londe.

Le mercure est contenu dans la partie étroite du godet H*g* ; 10 à 15 millimètres (au maximum) de hauteur suffisent. Au dessus, dans la partie large du godet, est placé l'alcool, jusqu'à 20 millimètres environ du bord supérieur, protégé par un couvercle métallique. Dans ces conditions, malgré l'oxydation du mercure et la formation d'une boue mercurielle qu'on ne peut éviter, notre trembleur a pu fonctionner plusieurs semaines sans changer le mercure.

La monture à crémaillère du godet H*g* permet de régler la plongée de la tige T pendant la marche de la bobine en observant l'étincelle produite.

La disposition de cette tige interruptrice *t*T concourt à la facilité de réglage et à la marche satisfaisante de l'appareil : elle a, en effet,

---

[1] Séance du 19 novembre 1897.

un mouvement alternatif parfaitement rectiligne; elle est équilibrée; sa masse est centrée : elle ne fouette pas le mercure. De cette façon on évite les mouvements latéraux du mercure, la projection hors du godet des liquides qu'il contient et l'inflammation de l'alcool. Il est

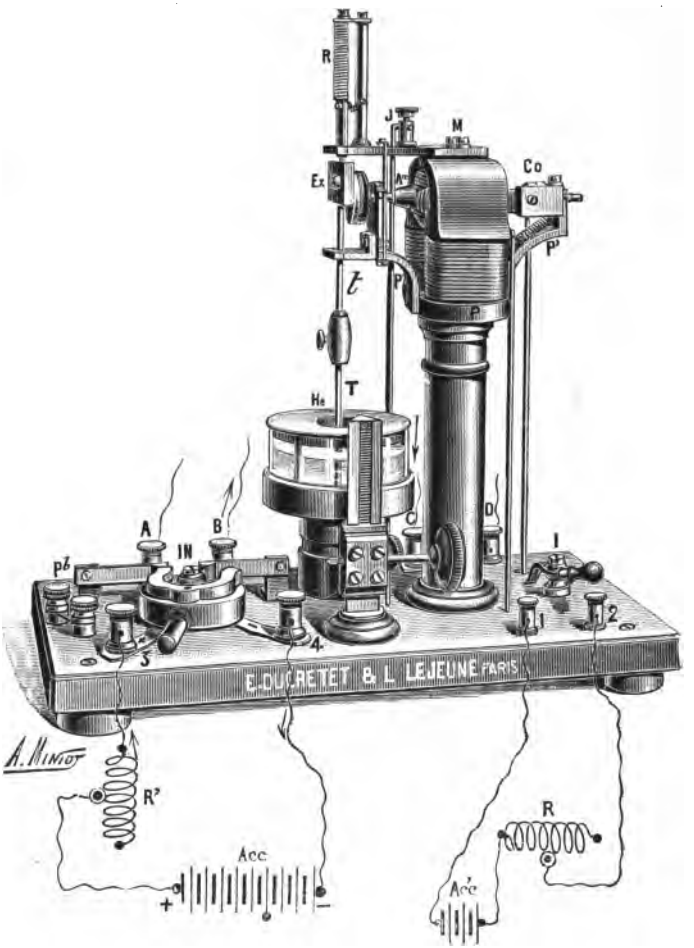


Fig. 1.

possible ainsi d'obtenir une très grande vitesse, variable dans des limites très étendues, par le jeu du rhéostat R agissant sur le courant de A*cc'* qu'actionne le petit moteur électrique M.

A la vitesse de 300 tours à la minute (vitesse convenable pour la

radiographie), le moteur absorbe 2 volts et 0,6 ampère. Pour la fluoroscopie il faut environ 1.100 tours; dans ce cas le courant dépensé est de 4 volts et 1 ampère. A 1.320 tours il est de 6 volts et $1^{amp},3$. Dans les limites moyennes la marche de cet interrupteur est à peu près silencieuse.

L'inverseur IN est utile pour faire varier le sens du courant induit et obtenir le maximum de longueur d'étincelle. R′ est un rhéostat réglant le courant de A*cc* allant à l'inducteur de la bobine. Les bornes AD vont au condensateur de cette bobine.

I est l'interrupteur du courant dans le moteur M. P*b* est un plomb fusible (10 à 12 ampères) nécessaire lorsqu'on fait usage d'accumulateurs qui peuvent accidentellement être mis en court-circuit sur l'inducteur de la bobine.

Cet interrupteur indépendant convient aux grandes bobines de Ruhmkorff.

Nettoyage du godet. — Lorsqu'il devient nécessaire de changer le mercure du godet, il faut le démonter. Pour cela, il suffit de descendre la monture à fond de course au moyen de la crémaillère; retirer la tige T qui est serrée dans l'olive située sur la figure entre les lettres *t* et T; faire tourner le godet H*g* de gauche à droite dans sa monture à baïonnette.

Pour nettoyer le godet, le disposer avec son contenu sous un fort robinet d'eau jusqu'à ce que l'alcool et la boue noirâtre qui s'est formée aient été entraînés par le courant. D'autres liquides isolants peuvent remplacer l'alcool; celui-ci nous donne de bons résultats.

Sur deux nouveaux modèles de trompes à mercure;

Par M. Victor Chabaud [1].

Dans le modèle simple de pompe-trompe à mercure que je vais décrire, j'ai réduit au minimum le nombre des robinets en laissant à l'appareil toutes les garanties que peuvent offrir les dispositions les plus compliquées des instruments que j'ai construits jusqu'ici pour le même usage.

---

[1] Séance du 3 décembre 1897.

Cet appareil (*fig.* 1) se compose d'un réservoir mobile R relié

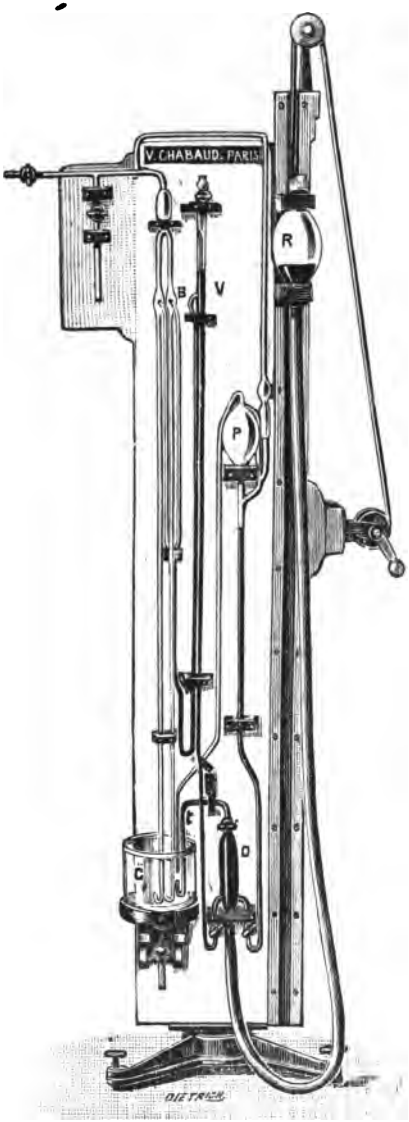


Fig. 1.

par un tube de caoutchouc à un purgeur D commandant d'une part une pompe à mercure sans robinet P, d'autre part une trompe à

mercure B. La trompe peut être à une chute ou à plusieurs chutes. L'appareil est muni de deux chutes d'un modèle spécial imaginé par M. Villard.

Le système trompe est lui-même commandé par un purgeur dans le vide V. L'extrémité inférieure des chutes de la trompe vient aboutir dans une cuve C placée à la partie inférieure de l'ensemble ; dans cette même cuve vient aussi se terminer l'extrémité supérieure recourbée comme l'indique le dessin, du purgeur inférieur D.

Pour disposer l'appareil, le réservoir R étant descendu au bas de sa course, on ouvrira le robinet qui surmonte le purgeur D en maintenant fermés les deux robinets placés à la partie inférieure du même purgeur, on mettra dans R du mercure pur et sec, et s'aidant au besoin de la manivelle, on fera passer ce métal par le tube *t* jusqu'à ce qu'il vienne recouvrir l'extrémité des chutes de la trompe dans la cuve C.

On ouvrira le robinet gauche inférieur du purgeur D et celui qui termine V, ou montera R de façon à faire passer le mercure au-dessus du robinet de V, on fermera le dernier, on descendra R, et la pompe-trompe sera prête à fonctionner.

S'il s'agit de vider un tube quelconque, on le munira des absorbants convenables et on le reliera à l'appareil ; on commencera le vide avec la pompe P ; pour cela, on ouvrira le robinet inférieur de droite du purgeur D, celui de gauche étant fermé et, au moyen de la manivelle, on fera la manœuvre que tout le monde connaît. Le vide ayant été poussé avec cette partie de l'appareil aussi loin qu'elle le permet, on fermera le robinet du purgeur D commandant la pompe et l'on ouvrira lentement celui commandant V et la trompe, on montera le réservoir R avec précaution pour l'arrêter dès que le mercure occupera les 2/3 de la hauteur de V ; à ce moment, on réglera la vitesse d'écoulement des chutes au moyen du robinet inférieur de D. Enfin, le mercure de R étant, je suppose, passé dans C, on le ramènera en R en descendant ce réservoir aussi bas que possible et en ouvrant le robinet supérieur du purgeur D ; le mercure siphonné par le tube *t* se rendra dans R et, le transvasement opéré, on fermera le robinet.

On voit donc que le mercure qui sert au fonctionnement de la pompe ne passe dans celle-ci qu'après avoir franchi le purgeur D, que celui qui sert au fonctionnement de la trompe à mercure n'arrive à celle-ci qu'après avoir passé d'abord par le purgeur D, puis par le

purgeur dans le vide V. Ces dispositions mettent l'appareil à l'abri de toute critique relative au gaz que pourrait fournir le tube de caoutchouc.

Les dimensions des tubes qui constituent la pompe-trompe ont été calculées de telle façon que si l'instrument quel qu'il soit, relié à l'appareil, venait à se briser, le mercure fermerait lui-même la communication avec le purgeur V.

J'ai réalisé aussi un modèle de trompe à mercure sans robinet, étudié tout spécialement en vue de la construction des tubes à analyse spectrale. Le dispositif que j'ai adopté ne diffère pas sensiblement de celui que représente la figure qui a servi à la description de l'instrument qui précède. La pompe n'existe pas sur ce modèle, mais pourrait y figurer, les robinets qui surmontent les purgeurs D et V y sont remplacés par des pointes effilées. L'absence de tout robinet sur ce modèle le rend précieux lorsqu'il s'agit d'éviter les spectres des hydrocarbures et lorsqu'il s'agit de construire des tubes à analyse spectrale, quand on ne possède qu'un volume de gaz pur très faible.

Densités, volumes moléculaires, compressibilité et dilatation des gaz aux diverses températures et aux pressions moyennes ;

Par M. A. Leduc [1].

I. — Introduction.

Mes diverses expériences sur les gaz, poursuivies depuis sept années, ont eu pour origine une observation relative à la composition de l'air atmosphérique [2] qui m'a amené à déterminer à nouveau les densités de l'oxygène et de l'azote et la composition de l'air atmosphérique. On trouvera dans le *Bulletin de la Société de Physique* [3] le résumé de ces expériences et l'indication des principaux perfectionnements apportés à la méthode de Regnault pour la détermination des densités.

---

(1) Séance du 17 novembre 1897.
(2) *Journal de phys.*, 2e série, t. X, p. 37; 1891. — *C. R.*, t. CXI, p. 262; 1890.
(3) Séance de la *Société Française de Physique* de 1891, p. 226 et 1893, p. 213.

La densité de l'hydrogène et la composition de l'eau ont fait l'objet d'une autre série d'expériences, d'où j'ai déduit le rapport des poids atomiques de l'hydrogène et de l'oxygène (1 : 15,88, ou mieux 1,0076 : 16) [1]. Ce résultat, obtenu par deux méthodes différentes, diffère notablement de celui de Dumas, qui était classique au début de mes recherches (1 : 16, ou 15,96 d'après Stas).

Je ne reviendrai pas ici sur ces expériences que je me propose de décrire prochainement dans les *Annales de chimie et de physique*, ni sur les déterminations de densités [2] dont le principal intérêt réside dans la préparation des gaz à l'état de pureté et dans les applications que nous en ferons.

Première remarque. — Les densités normales [3] de l'oxygène et de l'azote atmosphérique sont respectivement 1,10523 et 0,97203. D'autre part, l'air dépouillé de vapeur d'eau, d'acide carbonique, etc., contient en moyenne 0,2321 de son poids d'oxygène. Ces nombres sont en contradiction avec la loi du mélange des gaz telle qu'on l'énonce habituellement : « La pression d'un mélange de gaz est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz mélangés s'il occupait seul le récipient. »

On peut dire au contraire, sans erreur appréciable en général [4] : « Le volume occupé par un mélange de gaz sous une pression donnée est égal à la somme des volumes qu'occuperait chacun des gaz mélangés sous cette même pression. »

Deuxième remarque. — Il m'a paru convenable de supprimer, dans mes calculs ultérieurs, la cinquième décimale, tout à fait incertaine, des densités ci-dessus. J'en rapprocherai ici la densité de l'azote pur (ou chimique) : 0,9671, qui m'a conduit à adopter pour poids atomique de ce corps 14,005, au lieu de 14,044 d'après Stas [5].

II. — Volumes moléculaires.

La connaissance exacte des densités de l'oxygène et de l'hydrogène, d'une part, et de la composition en poids de l'eau, d'autre part, per-

---

(1) *C. R.*, t. CXV, p. 41 et p. 311 (1892); et t. CXVI, p. 1248 (1893).

(2) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. CXV, p. 1072 (1892); t. CXVI, p. 968; t. CXVII, p. 219 (1893); t. CXXIII, p. 805 (1896); et t. CXXV, p. 571 (1897).

(3) J'entends par là les densités à 0° sous la pression de 76 centimètres de mercure à 0° et à Paris, par rapport à l'air moyen de Paris.

(4) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. CXXVI, p. 218; 1898.

(5) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. CXXV, p. 299; 1897.

met d'examiner de plus près la composition en volumes de celle-ci.

Si x et y désignent les volumes d'hydrogène et d'oxygène qui s'unissent pour former de l'eau, on a :

$$\frac{x \times 0{,}06948}{y \times 1{,}10523} = \frac{2 \times 1{,}0076}{16},$$

d'où

$$\frac{x}{y} = 2{,}0035.$$

On peut exprimer ce résultat en disant que les volumes moléculaires de l'hydrogène et de l'oxygène sont entre eux dans le rapport 1,00175.

D'après cela la loi de Gay-Lussac semblerait n'être qu'une loi approchée.

On est amené à se demander si les différences qui existent entre les volumes occupés par la molécule-gramme des divers gaz à 0° et 76 centimètres par exemple ont ou non quelque chose de systématique. Or, d'après les nombres (densités et masses moléculaires) qui étaient classiques au début de mes recherches, ces volumes moléculaires varieraient dans le rapport de 1 à 1,013 environ (et même 1,022 pour HCl) sans que l'on pût soupçonner aucun lien entre cette variation et les données critiques, ni aucune autre constante physique des gaz.

Mais on remarque d'abord que l'écart trouvé tout à l'heure est dans le sens que font prévoir les résultats de Regnault sur la compressibilité de l'hydrogène et de l'oxygène, ces deux gaz s'écartant en sens contraire de la loi de Mariotte dans ces conditions. A mesure que je poursuivis la recherche des densités, je vis disparaître ou s'atténuer les écarts que je considérais comme anormaux : les volumes moléculaires à 0° et 76 centimètres diminuaient à peu près régulièrement à mesure que leur point critique était plus élevé.

M'appuyant sur la notion si féconde d'*états correspondants*, j'énonçai, dès 1893 [1], comme très probable, la loi suivante : *A des températures et sous des pressions correspondantes, les volumes moléculaires des divers gaz rapportés à l'un d'eux supposé parfait sont égaux.*

Le principe d'Avogadro-Ampère devient ainsi une loi limite.

Mes expériences ultérieures ont justifié mes prévisions en général. Mais j'ai reconnu que certains corps font exception à cette loi, et

---

[1] Conférence faite au laboratoire de M. Friedel. — Carré, édit.

qu'il y a lieu de former parmi les gaz étudiés trois groupes au moins dont le plus nombreux a reçu le nom de *groupe normal.*

Soient M et M', les masses moléculaires de deux gaz; D et D', leurs densités, dans des conditions identiques, par rapport à un troisième gaz, l'air par exemple. Par analogie avec la densité relative, $d = \frac{D'}{D}$, j'appelle poids moléculaire relatif le rapport $m = \frac{M'}{M}$.

Je conviens de rapporter la densité à un gaz fictif qui suivrait la loi de Mariotte dans les limites de mes expériences et de mes applications, et posséderait en conséquence un coefficient de dilatation unique et constant ω. D'ailleurs, pour fixer les idées, je lui attribue le poids moléculaire 32.

J'appelle enfin, par abréviation, *volume moléculaire* le rapport $\varphi = \frac{m}{d}$.

La loi fondamentale qui a fait l'objet de cette longue étude et qui a déjà reçu de nombreuses applications peut alors s'énoncer ainsi : « *Dans des conditions correspondantes, les gaz d'un même groupe ont le même volume moléculaire.* »

Pour établir expérimentalement cette loi, il fallait connaître :

1° Les densités d'un grand nombre de gaz à 0° et 76 centimètres par exemple ;

2° Leur température critique Θ et leur pression critique Π ;

3° Leur compressibilité à 0° ($T = 273°$), entre 76 centimètres et $\varepsilon\Pi$, la fraction ε étant la même pour tous les gaz (1) ;

4° Leur dilatation sous la pression constante $\varepsilon\Pi$, entre 273° et $n\Theta$, n étant aussi une même fraction pour tous les gaz.

Heureusement, j'ai pu simplifier ce programme assez imposant en limitant tout d'abord mes recherches aux gaz dont les données critiques étaient connues ou supposées telles. Je fus cependant amené à déterminer, en outre, celle de l'hydrogène phosphoré et à redéterminer celles des acides chlorhydrique et sulfhydrique.

D'autre part, le nombre des gaz que l'on peut préparer à l'état de pureté est assez restreint. Il est utile de connaître les densités à $\frac{1}{5000}$ près de leur valeur, et malgré tous mes soins je n'ai pu m'assurer

(1) Je désignerai par de grandes lettres les températures dites absolues, et par de petites les températures centigrades usuelles. Toutes les pressions, et en particulier la pression critique Π sont comptées en centimètres de mercure ; je désignerai plus loin par π la mesure de cette dernière, en atmosphères : $\pi = \frac{1}{76}\Pi$.

de cette précision qu'avec dix gaz ; je ne suis pas sûr de l'avoir atteinte pour deux autres (H^2S et Cl) qui figurent dans mon tableau.

J'avais compté d'abord utiliser les résultats de Regnault relatifs à la compressibilité ; mais je fus vite désabusé. Non seulement les résultats relatifs à un même gaz présentent quelquefois des discordances énormes, mais d'autres me semblèrent *a priori* tout à fait invraisemblables (l'oxyde de carbone, par exemple, serait presque aussi compressible que le protoxyde d'azote !). Je me suis donc vu obligé de reprendre cette étude sur les gaz dont j'avais déterminé la densité ; je l'ai étendue ensuite, avec le concours de M. Sacerdote, à tous les gaz dont on connaissait les données critiques.

Quant aux coefficients de dilatation dont j'avais besoin, ils faisaient à peu près complètement défaut. Leur détermination aurait été fort longue et aurait d'ailleurs présenté les plus grandes difficultés, eu égard aux limites de température et de pression. Nous verrons comment j'ai pu m'en dispenser, et calculer au contraire les coefficients de dilatation des gaz dans des conditions variées, en m'appuyant sur les résultats obtenus d'autre part et sur la loi précédemment énoncée considérée comme un *principe*.

III. — Compressibilité (partie théorique).

Notation. — Soit une masse de gaz, occupant à T° le volume V_0 sous la pression P_0, puis le volume V sous la pression P. Nous représenterons l'écart $\mathcal{E}$ de sa compressibilité par rapport à la loi de Mariotte, dans les limites de nos applications, par la formule :

$$(1) \qquad \mathcal{E} = \frac{P_0 V_0}{PV} - 1 = a\,(P - P_0) + b\,(P - P_0)^2.$$

Il est souvent commode de représenter l'écart entre deux pressions P_1 et P_2 par la formule plus simple :

$$(2) \qquad \mathcal{E} = A_{P_1}^{P_2}\,(P_2 - P_1).$$

$A_{P_1}^{P_2}$ est le coefficient moyen d'écart entre ces limites. Je désignerai par $\mathcal{A}_P$ le coefficient vrai d'écart pour la pression P, c'est-à-dire la valeur limite de $A_{P_1}^{P_2}$, lorsque P_1 et P_2 tendent vers P. — On a :

$$(3) \qquad \mathcal{A}_P = -\frac{1}{PV} \cdot \frac{\partial\,(PV)}{\partial P}.$$

On en déduit par exemple le coefficient de compressibilité sous la pression P et le coefficient d'élasticité isotherme :

$$(4) \qquad \mu = \frac{1}{P} + \mathcal{A}_P ; \qquad E = \frac{P.}{1 + P.\mathcal{A}_P}.$$

J'ai été amené à calculer tout d'abord le coefficient vrai pour la pression π^{cm}, π étant la pression critique en atmosphères.

On trouve aisément que l'on a très sensiblement [1] :

$$(5) \quad \left\{ \begin{array}{l|l} \mathcal{A}_\pi = a + (2b - a^2)(\pi - P_0) & A_\pi^P = \mathcal{A}_\pi + b\,(P - \pi) \\ \mathcal{A}_P = \mathcal{A}_\pi + (2b - a^2)(P - \pi) & A_{P_1}^{P_2} = \mathcal{A}_\pi + (2b - a^2)\left(\frac{P_1 + P_2}{2} - \pi\right) \\ & \qquad + a^2\,\frac{P_2 - P_1}{2}. \end{array} \right.$$

États correspondants. — Soient deux gaz G_1, G_2 qui, dans des états correspondants, ont, ainsi que nous le disions plus haut, le même volume moléculaire. Faisons passer G_1 de la pression $\varepsilon\Pi_1$ à la pression $\varepsilon'\Pi_1$, et G_2 de $\varepsilon\Pi_2$ à $\varepsilon'\Pi_2$. Les volumes moléculaires doivent demeurer égaux. Or ils deviennent :

$$(6) \qquad v'_1 = \frac{v_1}{1 + \mathcal{E}_1}, \qquad v'_2 = \frac{v_2}{1 + \mathcal{E}_2},$$

$\mathcal{E}_1$ et $\mathcal{E}_2$ étant les écarts respectifs de ces gaz entre les pressions considérées. — On doit donc avoir $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$, c'est-à-dire

$$(7) \qquad A_1\,(\varepsilon' - \varepsilon)\,\Pi_1 = A_2\,(\varepsilon' - \varepsilon)\,\Pi_2,$$

A_1 et A_2 correspondant respectivement aux limites $\varepsilon\Pi_1$ et $\varepsilon'\Pi_1$, $\varepsilon\Pi_2$ et $\varepsilon'\Pi_2$. On a donc en général : $A\pi = C^{te}$; ou, en vertu de la troisième relation (5) : et en supposant que l'on parte de $\varepsilon = \frac{1}{76}$:

$$(7\ bis) \qquad \pi\left[\mathcal{A}_\pi + b\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} - 1\right)\pi\right] = C^{te};$$

et, comme ε' est arbitraire, on a séparément :

$$(8) \qquad \pi\mathcal{A}_\pi = C^{te}; \qquad \text{et} \quad (9) \qquad b.\pi^2 = C^{te}.$$

---

[1] J'avais négligé jusqu'ici a^2. J'ai repris les calcul en en tenant compte, en vue de certaines applications.

Ces dernières relations ne peuvent certainement pas être établies ou vérifiées par l'expérience ; car il est impossible de déterminer les coefficients de la formule (1) avec une précision suffisante, à des températures les unes très élevées, les autres très basses, formant un système de températures correspondantes pour les divers gaz.

Il semble donc que ces nouvelles ressources soient aussi peu utilisables pour notre objet que la détermination directe des densités. Mais voici par quel artifice j'ai pu tourner la difficulté.

Première conséquence. — Déterminons les volumes moléculaires des divers gaz à 0° et à des pressions correspondantes. Il est clair que φ doit être d'autant plus petit que la température critique est plus élevée. On prévoit, d'après les résultats obtenus par Regnault, que la courbe

$$(10) \qquad y = (1 - \varphi_\pi)\, 10^4 = f(\Theta)$$

tournera sa concavité vers l'axe des y.

En vertu des relations (6) il suffit, pour connaître le volume moléculaire de chaque gaz sous la pression de π^{cm}, de connaître approximativement A^{π}_{76} à 0°. Mes premières expériences sur la compressibilité, exécutées à des températures voisines de 0°, donnaient ce coefficient avec une exactitude suffisante pour cet objet. Mieux vaut cependant le calculer au moyen des formules que nous obtiendrons plus loin (p. 159). Quoi qu'il en soit, on a très sensiblement :

$$\varphi_\pi = \varphi_{76} - A^{\pi}_{76}(\pi - 76).$$

Or, en portant sur un papier quadrillé mes données expérimentales, je vis qu'en effet la plupart des points se plaçaient assez nettement sur une courbe unique ; mais il y avait exception pour HCl et AzH^3 dont les points figuratifs se plaçaient notablement trop haut. Je trouvai plus tard que celui de H^2S était au contraire trop bas.

L'exception présentée par l'acide chlorhydrique n'était qu'apparente et tenait à ce que sa pression critique était mal connue [1] ; les deux autres sont confirmées par l'étude de la compressibilité.

Deuxième et troisième conséquences. — On sait que la compressibi-

---

[1] 86 atmosphères d'après M. Dewar, 96 atmosphères d'après MM. Vincent et Chappuis. Nous avons trouvé ultérieurement, M. Sacerdote et moi, 83 atmosphères.

lité des gaz en général, représentée ici par le coefficient A, diminue à mesure que la température T s'élève. Si donc les relations (8) et (9) sont exactes, c'est-à-dire si les expressions qu'elles renferment ne dépendent que du rapport $\chi = \frac{\Theta}{T}$, elles doivent augmenter avec Θ, pour une même température T. Dans cette condition les expressions :

$$(11) \qquad z = \pi \mathcal{A}_{\pi} . 10^4 = f_1 (\Theta),$$

$$(12) \qquad u = b . \pi^2 . 10^4 = f_2 (\Theta),$$

sont des fonctions croissantes de Θ.

C'est en vue de la vérification de la formule (11) que j'ai entrepris l'étude de la compressibilité à la température constante de 16°. Voici quels en ont été les résultats :

Pour la plupart des gaz étudiés, z_{16}, tel qu'il est fourni par les expériences [1], est bien représenté par la formule empirique provisoire

$$(13) \qquad z = m (\Theta - 98)^2 - n (\Theta - 98)^3 + p (\Theta - 98)^4,$$

dans laquelle $m = 135.10^{-5}$, $n = 338.10^{-8}$, $p = 145.10^{-10}$.

Pour le gaz ammoniac et le chlorure de méthyle, le produit $\pi \mathcal{A}_{\pi} 10^4$ est supérieur d'environ 16 0/0 à la valeur z donnée par cette formule. Au contraire, pour PH^3 et H^2S, le nombre expérimental n'est que les 0,84 environ du nombre calculé. Quant à l'acide chlorhydrique, il rentre dans le cas général si l'on admet pour sa pression critique 83 atmosphères, et non 86 ou 96.

Formation de trois groupes. — On voit par là que, conformément à l'opinion de plusieurs savants, le théorème des états correspondants n'est pas absolument général, mais qu'il exige la répartition des corps en groupes qui s'y conforment respectivement.

Notre étude de la compressibilité conduit à la formation de trois groupes au moins, dont l'un, de beaucoup le plus nombreux, est nettement caractérisé par l'observance des formules (10) et (11). Nous lui attribuerons l'épithète de *normal*.

---

(1) En réalité, les expériences ont été faites à des températures aussi voisines que possible de la température ambiante, et par suite plus ou moins différentes de 16°. Les corrections nécessaires pour les ramener à la température uniforme de 16° ont d'abord été déterminées par des essais spéciaux. Je donnerai plus loin une formule qui dispense de ces essais, et conduit plus sûrement au même résultat.

Le deuxième groupe, représenté par AzH^3 et CH^3Cl, renferme des gaz plus compressibles que les premiers, et dont les volumes moléculaires sont, par suite, plus petits dans des états correspondants ; le méthane m'a paru faire partie de ce groupe, et, par analogie, j'y ai ajouté l'éthane.

Le troisième groupe, représenté par PH^3 et H^2S, renferme au contraire des gaz moins compressibles que les normaux, et, par suite, de volume moléculaire plus grand. Par ce dernier caractère le chlore rentre dans ce groupe.

Quant à l'équation (12), la détermination du coefficient b est trop incertaine, surtout entre les limites de pression de nos expériences (1 et 2 atmosphères), pour que l'on puisse en tirer un argument pour ou contre notre loi. Cela serait d'ailleurs superflu. Mais, inversement, la notion qu'elle apporte permet de fixer d'une manière plus probable les valeurs de b.

En effet, d'une part, b ne doit dépendre, pour les gaz normaux, que du rapport χ. D'autre part, Regnault a observé que b est < 0 pour les gaz étudiés notablement au-dessus de leur point critique, et > 0 dans le cas contraire. Des expériences plus récentes semblent montrer que b s'annule au voisinage d'une température pour laquelle $\chi = 0{,}8$.

Guidé par ces indications, j'ai trouvé que, les valeurs > 0 de b données par l'équation

$$u = 13.\chi(\chi - 1) + 2, \tag{14}$$

s'éloignent peu de celles trouvées par l'expérience, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre [1]. Ce sont ces valeurs calculées que j'ai employées dans mes calculs ultérieurs aussi bien que pour la réduction définitive des nombres expérimentaux.

---

[1] Cette formule, dont la simplicité exclut toute prétention à l'exactitude, donne, comme il convient, des valeurs < 0 pour $\chi < 0{,}8$. Mais les valeurs calculées pour les gaz très éloignés de leur point critique, comme l'azote, sont notablement plus grandes que celles données par l'expérience. Il est bon de dire que, dans toutes nos applications, il sera permis de négliger b quand il sera < 0.

J'ajouterai que j'ai d'abord fait usage de la formule $U = 20.\chi(\chi - 1)$ qui donne à peu près les mêmes résultats pour les principaux gaz étudiés. Les différencss qui en découlent relativement aux divers nombres calculés sont de l'ordre des erreurs d'expérience.

Enfin il est clair que cette formule, ou toute autre plus exacte, perdrait tout sens en dehors des limites où la compressibilité est bien représentée par la formule (1) à deux termes (en dehors de ces limites b serait fonction de P). Mais les applications que nous avons en vue nous laissent libre de ce souci.

Pour les gaz de la deuxième série, j'ai majoré u, et par suite b dans le rapport $\overline{1,16}^2$; pour ceux de la troisième, j'ai opéré de même la réduction dans le rapport $\overline{0,84}^2$, en raison du rapprochement établi entre b et a^2 par les formules (5).

Compressibilité à diverses températures et à diverses pressions. — Grâce au principe des états correspondants, la série unique des expériences faites au voisinage d'une même température (16° par exemple) permet de calculer la compressibilité des gaz à une autre température T quelconque. En effet z prend à T° la valeur qui convient, à 16° (c'est-à-dire 289° absolus), à un autre gaz du même groupe dont la température critique serait :

$$\Theta' = \frac{289}{T} \times \Theta = 289\,\chi.$$

Il suffit donc de remplacer dans la formule (13) Θ par $289\,\chi$, ce qui donne, après développement,

$$(15) \qquad z = 101{,}1\chi^4 - 218{,}8\chi^3 + 265{,}5\chi^2 - 120{,}4\chi + 17{,}5.$$

Mais, en utilisant pour la réduction des expériences les valeurs de b calculées plus haut et le coefficient de température $\left(\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial T}\right)$ donné par la formule (20) et inscrit dans le tableau ci-après, j'ai été amené à modifier légèrement les coefficients :

$$(15\ bis) \qquad z = 101{,}4\chi^4 - 220\chi^3 + 266\chi^2 - 119\chi + 16{,}9.$$

On jugera de la qualité de cette formule en comparant les nombres calculés (z) aux nombres expérimentaux ($\pi.\mathcal{A}_\pi.10^4$).

Gaz	$\pi\mathcal{A}_\pi.10^4$	z	$-\left(\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial T}\right)_{16°}$	Gaz	$\pi\mathcal{A}_\pi.10^4$	z	$-\left(\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial T}\right)_{16°}$
Az	1,1	1,0	0,10	$(CH^3)^2O$	155,5	154,9	3,7
CO	1,4	1,5	0,11	$(CH^3)AzH^2$	195	197,1	3,9
O	4,1	3,9	0,13	SO^2	199	198,5	3,5
AzO	7,9	8,0	0,16	C^2H^5Cl	262	254,4	6,6
C^2H^4	41	41,9	1,0				
CO^2	54	54,5	0,9	AzH^3	182	180,8	2,2
Az^2O	57	57,9	1,0	CH^3Cl	195	200,4	3,8
C^2H^2	60	58,1	1,1				
HCl	68,4	68,5	1,0	PH^3	60	58,2	1,1
Cy	144,2	146,2	3,3	H^2S	90	96,2	1,4

On pourrait se déclarer très satisfait de la concordance pour les quatorze premiers gaz (série normale), mais la précision des expériences permet d'être plus exigeant, sauf en ce qui concerne le chlorure d'éthyle, qui n'était pas suffisamment pur.

En admettant comme exacte la température critique de l'acétylène et les données critiques des gaz voisins (CO^2, Az^2O et HCl), on est porté à attribuer à ce gaz la pression critique 66 atmosphères, au lieu de 68. On sait, en effet, qu'en général la présence d'impuretés élève la pression critique. — J'ai admis 67 atmosphères.

Pour le cyanogène, au contraire, on serait porté à prendre une pression critique plus élevée, si l'observation précédente ne s'y opposait. Peut-être conviendrait-il d'adopter 123°, au lieu de 124°, pour la température critique (centig. ord.) ?

La pression critique de l'oxyde de méthyle n'a pas encore été déterminée directement. Nous l'avons calculée de manière à satisfaire à la formule (15 *bis*), c'est-à-dire en admettant que ce corps fît partie de la série normale. On trouve 59 atmosphères.

Remarque I. — Les formules (13) et (15 *bis*) ne sont pas applicables à l'hydrogène. La première ne convient, en effet, que pour $\Theta > 98$; et la deuxième, en conséquence, pour les températures inférieures à celle où le gaz considéré suit la loi de Mariotte.

Je suis cependant porté à croire que l'hydrogène appartient à la série normale. La courbe expérimentale est bien, comme l'indique la formule (13), tangente à l'axe des Θ ; mais elle présente une inflexion à l'origine pour aller passer par le point figuratif de l'hydrogène. Il eût fallu, pour tenir compte de ce fait, employer une formule polynome de degré supérieur, commençant par un terme en $(\Theta - 98)^3$. J'ai préféré laisser de côté l'hydrogène.

II. — D'après des recherches inédites, M. Amagat est conduit à penser que l'oxygène et l'azote ne font point partie du même groupe. La petitesse du coefficient $\mathcal{A}$ de ces deux gaz ne me permet pas d'avoir sur ce point une opinion ferme ; mais cela n'a aucune importance à l'égard des applications que j'ai en vue.

Calcul des divers coefficients. — Les formules (5) permettent de calculer maintenant les divers coefficients dont on peut avoir besoin. Soit, par exemple, le coefficient vrai $\mathcal{A}$ sous la pression P centimètres

à la température T°. On a, en désignant par e le rapport $\frac{P}{\pi}$:

$$(16) \qquad \lambda_{0P} = \frac{10^{-4}}{\pi}\,[z + (e-1)\,(2u + z^2.10^{-4})]\,(^1).$$

On en déduit l'expression suivante, employée plus loin, du produit de la pression par le coefficient d'élasticité isotherme.

$$(17) \qquad P\mu = 1 + e.10^{-4}\,[z + (e-1)\,(2u + z^2.10^{-4})].$$

Compressibilité des divers gaz à 0°. — Il est commode, pour certaines applications, d'avoir une formule qui représente la compressibilité des divers gaz, à 0° par exemple, en fonction de leur température critique Θ. Dans cette formule, du type (13), le nombre 98 sera remplacé par 93, qui est la température correspondante :

$$\frac{98}{273 + 16} = \frac{93}{273}.$$

On aura donc

$$(18) \qquad z_0 = m'(\Theta - 93)^2 - n'(\Theta - 93)^3 + p'(\Theta - 93)^4.$$

On obtient des résultats très satisfaisants en donnant aux coefficients les valeurs :

$$m' = 15.10^{-4}, \qquad n' = 4.10^{-6}, \qquad p' = 183.10^{-10};$$

mais il est préférable de s'en tenir à la formule (15 *bis*).

Simplification de l'étude d'un gaz. — En possession de ces formules, qui ont l'avantage bien connu de corriger dans une certaine mesure les erreurs accidentelles des expériences, on peut se borner pour le calcul des divers coefficients relatifs à la compressibilité d'un gaz, à considérer *deux déterminations* seulement de l'expression $\frac{PV}{1 + \alpha t}$ pour des pressions aussi différentes que possible et des *tem-*

(1) z et u étant exprimés en fonction de χ, on peut sans inconvénient supprimer les indices. — Il est bien entendu que les valeurs de z et u, fournies par les formules (15 *bis*) et (14), doivent être multipliées par des facteurs convenables pour les gaz n'appartenant pas à la série normale.

pératures très voisines, sinon identiques [1], chacune d'elles étant formée de plusieurs séries d'observations bien concordantes.

En effet, d'une part, la formule (14) dispense d'une troisième détermination ayant pour but de faire connaître b, et, d'autre part, on calcule la variation de z pour une variation de température δT (de part et d'autre d'une certaine température moyenne T) au moyen de la formule facile à trouver :

$$(19) \qquad \delta z = -\frac{\delta T}{T}[405{,}6\chi^4 - 660\chi^3 + 532\chi^2 - 119\chi].$$

On en déduit, par exemple, la variation par degré de $\mathcal{A}_\pi$ (en millionièmes) :

$$(20) \qquad \delta\mathcal{A} = -\frac{405{,}6\chi^4 - 660\chi^3 - 532\chi^2 - 119\chi}{\pi.T.10^{-2}}.$$

On tiendra compte, bien entendu, des observations faites à propos de z et u, si l'on s'aperçoit après coup que le gaz étudié n'appartient pas à la série normale, pour laquelle nos diverses formules sont établies.

Données numériques. — Avant de passer à la description détaillée des expériences, je vais donner le tableau, pour les gaz dont les données critiques sont aujourd'hui connues, des divers coefficients que j'ai été amené à calculer.

θ est la température critique centigrade.

Les $\mathcal{A}$ et A sont multipliés par 10^6, les b par 10^8.

---

[1] Cette condition est imposée par la connaissance très imparfaite du coefficient de dilatation α. Je donnerai, plus loin, un tableau comprenant plusieurs séries de ces coefficients ; mais il faudrait connaître ici α pour chaque gaz étudié, pour chaque température t et pour chaque pression P. Le calcul est facile, mais fastidieux.

Il faut remarquer d'ailleurs que, si la température t était tout à fait invariable, la connaissance de α deviendrait inutile.

Gaz	Données critiques. Θ°	π^{atm}	Compressibilité à 0°. z	$\mathcal{A}_\pi$	b	A_π^{76}	A_{76}^{152}	Compressibilité à 100°. z	b	A_{76}^{104}
H	—234	20	»	—6	»	—6	—6	»	»	—11
Az	—146	35	1,6	+5	»	+5	+5	0	»	0
CO	—139,5	35,5	2,2	6	»	6	6	0,03	»	0
O	—118,8	50,8	5	10	»	10	10	0,5	»	2
AzO	—93,5	71,2	10	14	»	14	14	2	»	3
C^2H^4	+10	51	52	101	9	103	123	17	»	34
CO^2	+31	77	67	87	6	87	91	22	»	29
Az^2O	36,4	73,1	71	96	7	97	103	24	»	32
C^2H^2	37	67	71	106	8	107	114	24	»	36
HCl	52,2	83	85	102	7	102	107	28	1	35
Cy	124	61,7	183	295	28	300	326	57	7	96
$(CH^3)^2O$	129,6	59	194	329	34	335	368	60	9	109
CH^3AzH^2	155	72	249	346	26	347	370	74	9	106
SO^2	155,6	78,9	251	316	22	316	334	75	7	97
$(CH^3)^3Az$	160,5	41	263	640	84	670	756	78	26	213
$(CH^3)^2AzH$	163	56	269	480	46	490	534	79	15	152
CH^4	—81,8	54,9	15	27	»	27	27	3,4	»	6
C^2H^6	+35	45,2	81	179	25	186	214	27	»	60
AzH^3	131	113	228	202	12	198	204	70	3	61
CH^3Cl	141,5	73	253	346	30	247	372	76	8	107
PH^3	52,8	64	72	112	9	113	122	24	1	38
H^2S	100	90	120	133	8	132	137	38	2	42
Cl	146	93,5	192	204	11	202	210	57	3	61

IV. — Compressibilité (*expériences*).

La compressibilité des gaz a fait l'objet de deux séries d'expériences. Dans la première, je me proposais seulement de déterminer la correction à apporter à la densité des divers gaz à 0° pour passer soit de la pression atmosphérique de chaque jour à la pression normale, soit de celle-ci à la pression de π centimètres. Les densités n'étant connues, en général, qu'à $\frac{1}{10000}$ près tout au plus, il suffisait pour cela de connaître le coefficient moyen A à $\frac{10^{-4}}{76 - \pi}$ près, c'est-à-dire à 2 ou 3 unités près du sixième ordre pour les gaz dont la

pression critique est très différente de 76 atmosphères, et à 10 unités près pour ceux, très nombreux, dont la pression critique est comprise entre 66 et 86 atmosphères.

Cette première série d'expériences a cessé d'être intéressante par suite des connaissances acquises ultérieurement. La précision, bien que suffisante, en était d'ailleurs limitée par la difficulté de connaître exactement la température, voisine de 0°, du bain où plongeait le tube laboratoire [1].

La deuxième série, exécutée avec le concours de M. P. Sacerdote, avait pour but de vérifier la loi énoncée plus haut (formule 11). Il fallait, à cet effet, atteindre une précision bien plus grande, et cela devient relativement facile en opérant à une température voisine de la température ambiante.

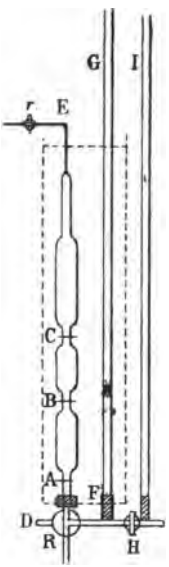


Fig. 1.

L'appareil se compose à peu près comme le manomètre dont Regnault s'est servi pour déterminer les coefficients de dilatation des gaz à pression constante (*fig.* 1). La petite branche est remplacée par un tube AE portant trois ampoules dont les volumes sont à peu

---

(1) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. CXXIII, p. 743.

près à partir d'en bas : 200, 100 et 300 centimètres cubes. Trois traits de repère, A, B, C, sont tracés sur des parties cylindriques ayant un peu plus de 14 millimètres de diamètre intérieur. La partie capillaire E est fermée par un robinet de verre *r*. Ce tube et le manométrique FG sont mastiqués dans une monture en fonte avec robinet à trois voies R, et plongés dans une cuve prismatique fermée en avant par une glace à faces parallèles. Un troisième tube IH placé extérieurement, et que l'on peut isoler par un robinet H, permet d'introduire lentement le mercure dans le manomètre, ce qui rend peu probable l'introduction simultanée de bulles d'air dans le tube AE. Pour l'éviter plus complètement, nous avons eu le soin, au commencement de chaque opération, de faire le vide (par G) dans la partie FRH.

La lecture des niveaux du mercure était faite au moyen d'un cathétomètre de Perreaux ; pour la rendre plus précise, nous avons disposé un système de curseurs permettant d'amener à la hauteur exacte des ménisques des plaquettes de porcelaine portant des bandes horizontales noires et blanches, à séparation très nette.

Un tube recourbé amenait au fond de la cuve, dans l'angle voisin de A, le courant d'air d'une trompe convenablement réglé.

Un thermomètre de Baudin divisé en 50emes donnait la température de la cuve à 0°,01 près $\left(\text{on lisait les } \frac{1}{200^{\text{es}}}\right)$.

Calibrage. — Il s'agit de déterminer, d'une part, les volumes compris entre le robinet *r* et chacun des traits A, B, C, puis la section des tubes au voisinage de ces traits.

Nous avons d'abord suivi de tout point les indications de Regnault, remplissant complètement le tube de mercure jusqu'en *r*, et le laissant s'écouler par le robinet R, successivement jusqu'au voisinage de chacun des traits. Le niveau moyen [1] du ménisque était repéré

---

[1] A. Leduc, *C. R.*, t. CXXIII, p. 743. — La flèche peut varier de 0^{mm},8 à 1^{mm},7 environ, et il est difficile de la rendre constante, au moyen de secousses, à moins de 0^{mm},2 ou 0^{mm},3. J'ai fait une longue étude préliminaire de la déformation du ménisque. J'ai trouvé, avec un tube d'un diamètre à peine supérieur, que, si l'on fait varier la flèche entre 0^{mm},90 et 1^{mm},65 en laissant constante la quantité de mercure contenue dans le tube, les déplacements du sommet et de la base sont proportionnels aux nombres 25 et 73. J'ai adopté, en conséquence, pour déterminer le *niveau moyen*, aussi bien pour les opérations du calibrage que pour les mesures des volumes de gaz, la règle suivante : On retranche de la lecture du sommet : 0^{mm},17 + $\frac{1}{4}$ de la flèche.

au cathétomètre par rapport au trait correspondant, et la température de la cuve soigneusement notée. Le mercure recueilli était pesé au moyen d'une balance de Deleuil sensible au milligramme, et de poids étalonnés.

Malgré ces précautions, nous avons trouvé, en répétant plusieurs fois la même opération, des différences dépassant $0^{cmc},3$. Des moyennes prises dans ces conditions ne pouvaient conduire qu'à des résultats erronés. Nous avons pensé qu'une quantité plus ou moins importante de mercure restait, d'une part, dans les canaux du robinet et dans un cul-de-sac latéral D constitué par un canal ménagé pour le nettoyage et partiellement rempli par une vis formant bouchon, et que, d'autre part, les interstices inévitables du masticage (entre la douille en fonte et le bas du tube de verre) se remplissaient plus ou moins de mercure suivant les circonstances.

Cette manière de voir paraît justifiée, puisqu'en obviant à ces deux causes d'erreur les divergences ont disparu. A cet effet nous avons :

1° Inséré un tube *ab* en acier mince dans l'orifice *a* du manchon en fonte *mn* (*fig.* 2);

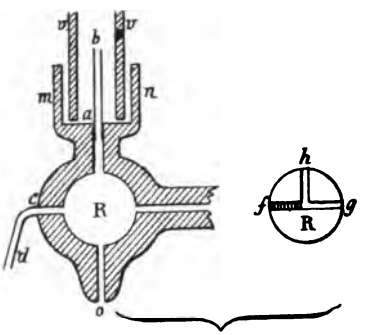


Fig. 2.

2° Coulé de la cire de Golaz dans l'espace annulaire et inséré le tube de verre *vv* dans le manchon pendant que cette cire était fondue (il ne peut rester ainsi aucun espace nuisible) ;

3° Inséré dans l'orifice auxiliaire *c* un tube en acier coudé *cd* ;

4° Bouché à la cire l'une des voies *f* du robinet R, de manière à la transformer en un robinet à deux voies coudées *gh*.

Opération. — Après avoir rempli complètement de mercure le tube laboratoire jusqu'au robinet *r*, on tourne le robinet R dans la

position (1) (*fig.* 3), et l'on souffle, au moyen d'un soufflet, par le

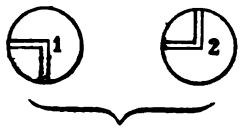


FIG. 3.

tube *dc*, de manière à faire disparaître tout le mercure retenu dans les voies. On amène ensuite le robinet dans la position (2), de manière à laisser écouler le mercure par le tube *d*, que l'on introduit au fond d'un flacon pour éviter les projections. Enfin on ramène le robinet à la position (1), après avoir introduit l'orifice O dans un tube à essai, et l'on souffle de nouveau par le tube *dc*; la petite quantité de mercure recueillie est ajoutée à la précédente.

Après avoir déterminé par le même procédé les sections du tube au voisinage des traits (164, 161 et 162 millimètres carrés), nous avons obtenu ainsi, toutes corrections faites, pour les volumes à 16°, des intervalles Ar, Br, Cr :

	306^{cmc},564	398^{cmc},186	595^{cmc},091
	306 ,567	398 ,192	595 ,099
	306 ,567	398 ,186	595 ,097
Moyennes :	306^{cmc},566	398^{cmc},188	595^{cmc},096

La concordance de ces nombres dispense de tout commentaire.

Il est probable que les écarts considérables des nombres obtenus par Regnault au moyen de son *petit appareil* sont dus, en grande partie, à la difficulté que nous venons de résoudre, et, pour le reste, à la détermination imparfaite du niveau moyen du mercure, ainsi que de la température moyenne du gaz. Les nombres trouvés au moyen de son grand appareil classique sont beaucoup meilleurs (H, Az, CO^2 et air) ; ils présentent toutefois une erreur systématique de + 3 unités sur A10^6, qui paraît due à la première cause : la détermination du rapport des volumes (1 : 2) du tube laboratoire comportait une erreur voisine de 1/5000.

Étude d'un gaz. — Après avoir refermé le canal *c* et rendu sa troisième voie au robinet R, on tourne celui-ci à 45° ; on fait le vide dans le tube laboratoire et on le remplit du gaz à étudier pur et sec,

jusqu'au trait A à une pression voisine de la pression atmosphérique. La température de la cuve est amenée un peu au-dessus de la température ambiante, si celle-ci tend à s'élever, et inversement. A partir du commencement des lectures, il convient d'ajouter par très petites quantités de l'eau froide ou tiède, suivant les cas, afin de maintenir bien constante la température du bain.

Pour exécuter une série de lectures, on fait en sorte (en ouvrant le robinet H) que le ménisque dans le tube laboratoire soit coupé par le trait choisi A, B ou C. On dispose les mires de porcelaine et l'on prépare la visée supérieure du baromètre ; puis on fait cesser l'agitation, et l'on tourne à 45° le robinet R, afin de n'avoir pas à se préoccuper des variations de la température de la cuve et de la pression atmosphérique.

Les lectures se font dans l'ordre suivant : baromètre (niveau supérieur), thermomètre de la cuve[1], thermomètre du baromètre, baromètre (niveau inférieur), tube manométrique et tube laboratoire. Enfin l'on repère le niveau moyen dans ce dernier par rapport au trait.

On possède ainsi tous les renseignements pour calculer la pression P du gaz et son volume V à la température de la cuve. Pour ramener ce gaz à une température uniforme, intermédiaire entre les extrêmes d'une même série, nous avons adopté pour coefficients de dilatation, des nombres variant entre 0,00367 et 0,00390, d'après des indications suffisantes, bien que peu précises, d'expériences antérieures. La correction ne portait, en effet, que sur quelques dixièmes de degré, tout au plus.

Pour donner une idée de la précision et de la concordance des déterminations, je citerai une expérience relative à l'oxyde de carbone. Les produits VP sont ramenés à la température moyenne de l'expérience : 17°,5.

	P	Moyennes	VP	Moyennes
Trait supérieur	150cm,904	150cm,930	46049,0	46048,7
	150 ,957		46048,4	
Trait inférieur	77 ,835	77 ,846	46060,8	46060,8
	77 ,846		46060,3	
	77 ,858		46061,3	

(1) En principe, il serait préférable de faire simultanément ces deux lectures ; mais nous avons constaté que l'indication du thermomètre reste invariable pendant plus de temps qu'il n'en faut pour repérer le sommet de la colonne barométrique.

On en tire :

$$10^6.A = \frac{12,1 \times 10^6}{46061 \times 73,1} = \frac{1210}{337} = 3,6,$$

qu'il faut augmenter de 0,1 pour le ramener à 16°. En s'appuyant sur les résultats de Regnault relatifs à l'azote, on voit qu'il faut encore ajouter 0,1 pour passer de A_{76}^{151} à $\mathcal{A}_{35}$ ou $\mathcal{A}_{\pi}$. On a donc à 16° : $\mathcal{A}_{\pi} = 3,8$, que l'on peut considérer comme approché à $\pm$ 0,5 près. On en déduit : $x = 1,4$.

La concordance des produits VP est moins bonne, en général, pour les gaz faciles à liquéfier. Mais l'écart des nombres relatifs à un même trait dépasse rarement 3 unités, ce qui correspond à une erreur possible d'une unité sur $\mathcal{A}.10^6$.

A part le cas particulièrement défavorable du chlorure d'éthyle, cette erreur ne semble point pouvoir dépasser deux unités.

Il est bon de dire que pour certains gaz, qui n'ont pas été obtenus à l'état de pureté, nous avons dû apporter une correction aux nombres trouvés. Nous avons appliqué, à cet effet, la loi des mélanges, qui semble assez bien justifiée par quelques expériences de Regnault. En tous cas, la correction étant très faible, il n'en peut résulter aucune erreur appréciable.

Je prendrai comme exemple le gaz sulfureux. Le coefficient moyen à 16°,7 entre 76^{cm},5 et 113^{cm},2 a été trouvé égal à 254,9 (au facteur 10^6 près). Mais ce gaz, traité par la potasse, laissait un résidu de 0,004 environ, qui était de l'air.

On aurait donc trouvé avec le gaz pur : 255,9.

La formule (14) donne :

$$b = 21.10^{-8}.$$

On a donc :

$$\mathcal{A}_{\pi} = 249 \quad \text{à} \quad 16°,7.$$

Enfin, $\mathcal{A}$ variant de 3,5 par degré au voisinage de 16°, on arrive pour cette température à 251,4, et comme l'erreur peut s'élever pour ce gaz à 2 unités, nous écrirons qu'à 16° :

$$10^6.\mathcal{A}_{\pi} = 251 \pm 2,$$

et :

$$\pi\mathcal{A}_{\pi}.10^4 = 199.$$

Application. — *Température à laquelle chaque gaz suit la loi de Mariotte* (1). — Les formules établies plus haut permettent de calculer la température à laquelle un certain gaz, dont on connaît les constantes critiques, présente une certaine compressibilité sous une pression donnée. Il est particulièrement facile de dire à quelle température τ° ce gaz suit la loi de Mariotte *à la pression* π *centimètres*, c'est-à-dire au voisinage de la pression atmosphérique.

C'est en effet celle qui correspond à la température critique comme 0° correspond à — 180° C.

$$\frac{273 + \tau}{\Theta} = \frac{273}{93}.$$

J'ai inscrit les valeurs de τ dans le tableau de la page 181. On verra que l'azote et l'oxyde de carbone suivent la loi de Mariotte vers 100°, ainsi que l'a observé autrefois M. Amagat sur le premier de ces gaz. L'acide carbonique ne la suit que vers 600°. Ce résultat peut paraître au premier abord en opposition avec les observations de M. Amagat,

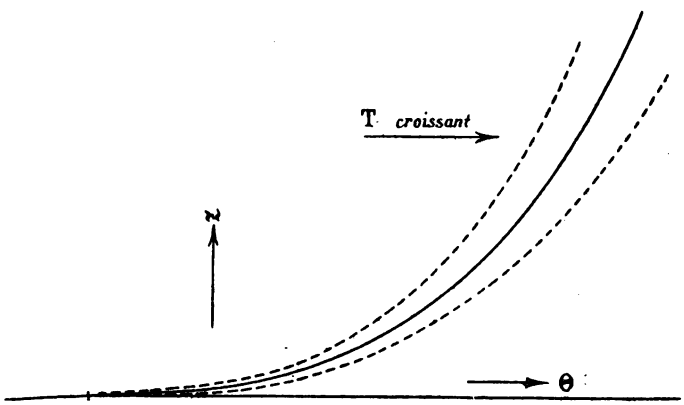


Fig. 4.

d'après lesquelles ce gaz ne présenterait à 300° qu'un écart insignifiant. En réalité, cet écart est à peu près celui de l'air à la tempéra-

(1) Conformément à un usage assez répandu, j'ai désigné par de petites lettres les températures centigrades comptées à partir de la glace fondante, et par de grandes les températures absolues.

ture ordinaire; mais il faudrait, pour le mettre en évidence d'une manière certaine, repérer la température (voisine de 300°) à moins de 0°,02 près, ce qui me paraît bien difficile.

Il est facile de se rendre compte, d'après ce qui précède, de ce qui arrive si, après avoir dessiné la courbe $z = f(\Theta)$ pour une certaine température T et un certain système de pressions correspondantes (c'est-à-dire pour une certaine valeur de ε), on fait varier T ou ε.

Dans le premier cas, à mesure que T augmente, la courbe s'abaisse vers l'axe des Θ, et son point de contact avec celui-ci se déplace dans le sens des Θ croissants (*fig.* 4).

Dans le deuxième cas la courbe pivote en se déformant autour d'un

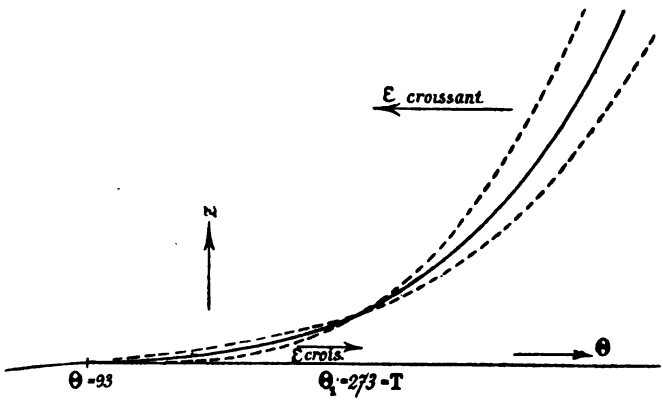


Fig. 5.

point d'abscisse $\Theta_1 = 0{,}8T$ environ, la déformation étant de beaucoup la plus grande du côté des Θ élevés. Si ε croît, la courbe se relève de ce côté, mais elle s'abaisse légèrement de l'autre, de sorte que le point de contact avec l'axe s'avance encore dans la direction positive. C'est ce que montre la *fig.* 5.

Parmi les conséquences qui s'en dégagent, je ne veux noter que celle-ci : pour les gaz qui se compriment plus que ne le voudrait la loi de Mariotte, la température τ est d'autant plus basse que la pression est plus forte.

V. — Volumes moléculaires en général et densité des gaz [1]

Volumes moléculaires à 0° et π centimètres. — Le volume moléculaire d'un gaz par rapport à l'oxygène normal est par définition :

$$\varphi_1 = \frac{M}{32} \times \frac{1,1052}{D},$$

M étant son poids moléculaire dans notre système usuel (O = 16), et D sa densité par rapport à l'air.

Pour obtenir le volume moléculaire à la pression π centimètres non plus par rapport à l'oxygène réel, mais par rapport à un gaz parfait ayant même masse moléculaire et aussi même densité normale, il faut diviser φ_1 par

$$1 + A_{76}^{\pi}(\pi - 76).$$

Cela revient sensiblement à ajouter le terme correctif :

$$\gamma = A_{76}^{\pi}(76 - \pi).$$

On a ainsi :

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \gamma.$$

J'ai dessiné la courbe $y_2 = f(\Theta)$ ayant pour ordonnées :

$$y_2 = (1 - \varphi_2)\, 10^4.$$

A la température absolue 93° (qui serait, d'après ce qui précède, le point critique d'un gaz réel suivant la loi de Mariotte à 0°, au voisinage de la pression π centimètres) correspond l'ordonnée — 7. Nous devons donc attribuer au gaz parfait fictif une masse spécifique inférieure de $\frac{7}{10.000}$ à celle de l'oxygène, et augmenter de 7 unités les ordonnées de la courbe provisoire.

J'ai inscrit dans la sixième colonne du tableau suivant les valeurs de :

$$y = (1 - \varphi)\, 10^4 = 10.007 - \varphi_2.$$

On verra qu'elles sont suffisamment bien représentées, pour tous

---

[1] Pour abréger, j'appellerai pression *normale* celle qu'exerce *à Paris* une colonne de mercure de 76 centimètres de mercure à 0°. J'appellerai gaz normal celui mesuré sous cette pression et à 0°.

les gaz de la série normale, par la formule

$$(21) \quad y = 122.10^{-5}(\Theta - 93)^2 - 155.10^{-8}(\Theta - 93)^3 + 13.10^{-9}(\Theta - 93)^4.$$

J'ai ensuite calculé, au moyen de cette formule, les y des gaz dont je n'ai pas déterminé la densité.

Parmi les gaz plus compressibles, l'ammoniac seul a été examiné. Son y est supérieur de 16 0/0 à celui d'un gaz normal qui aurait même point critique. J'ai admis, faute de mieux, qu'il en était de même pour les trois autres.

Parmi les moins compressibles, les y de H^2S et de Cl (en adoptant les données critiques de M. Knietsh) sont les 0,93 de ceux que donne la formule (21). J'ai admis le même rapport pour PH^3.

Volumes moléculaires en général. — Traitons l'équation (21) comme nous avons traité l'équation (13), et nous obtenons, pour représenter y à toute température, toujours sous la pression π centimètres (gaz normaux seulement) :

$$(22) \qquad y = 72.\chi^4 - 130.\chi^3 + 173.\chi^2 - 83.\chi + 12,3.$$

On passe aisément de là à l'expression générale du volume moléculaire à T° sous la pression p centimètres (voir formules 5, 11, 12 et 16) :

$$(23) \quad \varphi = \frac{1 - y.10^{-4}}{1 + A_\pi^p (p - \pi)} = \frac{10^4 - y}{10^4 + (e - 1)\, z + (e - 1)^2\, u}.$$

Il est clair que les résultats obtenus mériteront moins de confiance si la pression p est très en dehors des limites (1 et 2 atmosphères) entre lesquelles ont été faites les expériences relatives à la compressibilité. Il importe surtout que le terme en u ne soit pas trop grand, à cause de l'incertitude qu'il présente. Toutefois j'ai obtenu plusieurs vérifications remarquables à des pressions les unes très faibles, les autres très élevées.

Volumes et masses spécifiques, et densités en général. — D'après la définition de φ, le volume spécifique v d'un gaz est donné par la formule

$$(24) \qquad Mpv = RT\varphi,$$

dans laquelle R est une constante absolue, commune à tous les gaz. D'après mes expériences, et en attribuant à l'oxygène la masse

moléculaire 32, on a :

$$R = 8319.10^4.\ C.\ G.\ S.,$$

ou, si l'on préfère compter les pressions en centimètres de mercure :

$$R' = 6237,2.$$

On a donc :

$$(25) \qquad v = \frac{RT}{Mp} \cdot \frac{10^4 - y}{10^4 + (e-1)z + (e-1)^2 u}.$$

L'inverse est la masse spécifique à T° sous la pression p.

On en déduit la densité D par rapport à un gaz de masse moléculaire M' :

$$(26) \qquad D = \frac{M}{M'} \frac{10^4 - y'}{10^4 - y} \cdot \frac{10^4 + (e-1)z + (e-1)^2 u}{10^4 + (e'-1)z' + (e'-1)^2 u'}.$$

Mais il est d'usage de considérer le gaz de référence comme suivant la loi de Mariotte à partir des conditions normales, ce qui revient à lui attribuer un volume moléculaire φ'_0 constamment égal à celui qu'il a dans les conditions normales.

On a donc simplement :

$$(26\,bis) \qquad D = \frac{M}{M'} \cdot \varphi'_0 \cdot \frac{10^4 + (e-1)z + (e-1)^2 u}{10^4 - y}.$$

En particulier, les densités par rapport à l'air moyen de Paris s'obtiendront en attribuant à $\frac{M'}{\varphi'_0}$ la valeur 28,973.

J'ai calculé suivant cette convention les densités normales par rapport à l'air du tableau ci-dessous (D_{calc}). J'en ai rapproché les densités (D_{anc}), qui étaient classiques au début de mon travail.

Il est bien entendu que l'air de comparaison contient 232 millièmes de son poids d'oxygène, et que le poids du litre sous la pression d'une barye est 1gr,2757. Mais, pour éviter la difficulté créée par la variabilité de composition de l'air, soit en un même lieu, soit en des lieux différents, j'ai proposé de rapporter les densités à l'oxygène, qui paraît être, parmi les anciens gaz permanents, le plus facile à préparer à l'état de pureté et à peser avec précision. J'ai donc inscrit ces densités dans la colonne d de mon tableau. Il me suffit d'ajouter que la masse du litre d'oxygène à 0° sous la pression d'une barye est 1gr,4100.

On trouvera aisément, au moyen de ces renseignements, que le volume occupé par une molécule-gramme d'oxygène normal est

$22^{lit},389$; celui de l'hydrogène est $22^{lit},432$; celui du gaz parfait fictif, $22^{lit},405$.

Remarque. — Les masses moléculaires adoptées résultent partiellement de mes propres déterminations. Les nombres classiques donneraient lieu à des écarts importants entre les densités calculées et expérimentales. Il en serait de même si l'on prenait pour les poids atomiques les nombres entiers les plus voisins (35,5 pour le chlore).

Gaz	M	D_{exp}	$10^4\varphi_1$	$10^4\gamma$	$10007-\varphi_2$	y	D_{calc}	D_{anc}	$d=\frac{D}{D_{ox}}$	$m=\frac{M}{32}$
H	2,0152	0,06948	10017	− 3	− 7	(?)	0,06948	0,06926	0,06287	0,06297
Az	28,010	0,9671	10004	+ 2	+ 1	1,3	0,9671	(0,9714)	0,8750	0,8753
CO	28,004	0,9670	10003	+ 2,5	+ 1,5	1,8	0,9670	0,9678	0,8749	0,8751
O	32	1,1052	10000	+ 2,5	+ 4,5	4,4	1,1052	1,1056	1	1
AzO	30,005	»	»	+ 1	»	9	1,0366	1,039	0,9379	0,9377
C^2H^4	28,039	»	»	+ 26	»	50	0,975	0,985	0,882	0,8762
CO^2	44,004	1,5287	9942	− 1	66	66	1,5288	1,5291	1,3832	1,3751
Az^2O	44,010	1,5301	9934	+ 3	70	70	1,5302	1,527	1,3845	1,3753
C^2H^2	26,024	[0,9056]	»	+ 11	»	70	0,9055	0,92	0,8293	0,8132
HCl	36,478	1,2692	9927	− 7	87	84	1,2688	1,256	1,1480	1,1400
Cy	52,018	»	»	+ 43	»	180	1,8362	1,8064	1,6613	1,6256
$(CH^3)^2O$	46,055	»	»	+ 56	»	191	1,631	»	1,476	1,4392
CH^3AzH^2	31,048	»	»	+ 14	»	242	1,100	1,08	0,995	0,9702
SO^2	64,056	2,2639	9773	− 9	243	243	2,2639	2,234	2,0483	2,0017
$(CH^3)^3Az$	59,087	»	»	+234	»	255	2,142	»	1,938	1,8465
$(CH^3)^2AzH$	45,066	»	»	+ 98	»	260	1,613	»	1,459	1,4083
CH^4	16,035	»	»	+ 6	»	13	0,5545	0,5576	0,5017	0,5011
C^2H^6	30,054	»	»	+ 56	»	80	1,052	1,075	0,952	0,9392
AzH^3	17,028	0,5971	9850	− 73	227	225	0,5969	0,5967	0,5401	0,5321
CH^3Cl	50,497	»	»	+ 10	»	248	1,789	1,73	1,619	1,5781
PH^3	33,998	»	»	+ 14	»	80	1,1845	1,214	1,0717	1,0624
H^2S	34,071	1,1895	9892	− 19	134	134	1,1895	1,1912	1,0762	1,0647
Cl	70,940	2,491	9836	− 36	207	209	2,4918	2,44	2,254	2,217

Vérifications. — J'ai profité de la préparation de l'acétylène, faite en vue d'étudier sa compressibilité pour en déterminer la densité. Traité par le chlorure cuivreux, ce gaz laissait un résidu d'environ 3 millièmes. Or sa densité était 0,9059. Si l'on admet que le résidu était de l'air, et qu'aucune impureté n'a été absorbée par le chlorure cuivreux, on arrive pour le gaz pur à 0,9056, qui coïncide mieux qu'on ne pouvait l'espérer avec la densité calculée.

L'hydrogène phosphoré fournit une autre vérification remarquable. Mon nombre calculé est la moyenne de ceux que l'on trouve dans les éditions récentes de nos classiques (1,184 et 1,185) [1]. Il est, au con-

[1] Je n'ai pu savoir à qui l'on doit ces déterminations.

traire, passablement éloigné de celui de Dumas (1,214) qui figure encore dans les divers recueils de données numériques.

VI. — Coefficients de dilatation

En appliquant à nouveau le principe des états correspondants aux gaz pour lesquels il a été justifié, c'est-à-dire aux gaz d'une même série, nous pouvons maintenant calculer les coefficients de dilatation de ces gaz en général dans toutes les conditions que l'on voudra.

Toutefois, pour éviter tout mécompte, il ne faudra pas trop s'écarter des limites de pression entre lesquelles les formules empiriques ont été établies. Il est clair, d'ailleurs, que l'exactitude des résultats est subordonnée à celle des données critiques.

Il suffit de calculer, pour chaque gaz, les coefficients moyens (α sous pression constante, β à volume constant) entre 0° et t° ; on en déduit aisément les formules de dilatation, et de celles-ci, tous les nombres dont on peut avoir besoin. Toutefois il m'a paru intéressant de calculer directement les coefficients vrais à 0°, afin de ne pas les faire dépendre du nombre de termes adoptés pour les formules, ni du choix des températures t.

En outre, pour plus de généralité, et en vue d'une application ultérieure, je vais établir les formules qui donnent :

$$(27) \qquad \delta_m = \frac{v' - v}{v(t' - t)} \qquad \text{et } (27\ bis) \qquad \delta = \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial v}{\partial t}.$$

On passerait aisément de là aux coefficients usuels :

$$(28) \qquad \alpha_m = \frac{v' - v}{v_0(t' - t)} \qquad \text{et } (28\ bis) \qquad \alpha = \frac{1}{v_0} \cdot \frac{\partial v}{\partial t}.$$

D'ailleurs ces deux systèmes se confondent pour $t = 0$.

1° *Coefficient moyen entre* T *et* T′ *sous la pression constante* p *et coefficient vrai à* T°. — Le volume moléculaire d'un premier gaz de température critique Θ, étant φ à T°, devient φ' à T′°. D'après le principe admis, φ doit être en même temps le volume moléculaire à T° d'un deuxième gaz dont le point critique est Θ, tel que :

$$\frac{\Theta'}{T} = \frac{\Theta}{T'}.$$

On a donc, d'après la définition (27), en tenant compte de ce que

le coefficient δ_m pour le gaz parfait est constamment égal à $\frac{1}{T}$:

$$\varphi' = \varphi \frac{1 + \delta_m (T' - T)}{1 + \frac{1}{T}(T' - T)};$$

on en tire les deux coefficients :

$$(29) \quad \delta_m = \frac{1}{T}\left[1 + \frac{\varphi' - \varphi}{\varphi} \cdot \frac{T'}{T' - T}\right] = \frac{1}{T}\left[1 - \frac{\Theta}{\varphi} \cdot \frac{\varphi' - \varphi}{\Theta' - \Theta}\right] = \frac{1}{T}\left[1 - \frac{\chi}{\varphi} \frac{\varphi' - \varphi}{\chi' - \chi}\right]$$

$$(30) \quad \delta = \frac{1}{T} + \frac{1}{\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial T} = \frac{1}{T}\left[1 - \frac{\Theta}{\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \Theta}\right] = \frac{1}{T}\left[1 - \frac{\chi}{\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \chi}\right].$$

2° *Coefficient moyen de* 0° *à* t°, *et coefficient vrai à* 0°, *sous la pression* p. — Pour revenir au cas particulier usuel, il suffit de faire dans ces formules $T = 273$ (1), et de calculer φ et φ' qui correspondent respectivement à $\chi = \frac{\Theta}{273}$ et $\chi' = \frac{\Theta}{273 + t}$.

Il est d'ailleurs permis, en général, d'employer pour φ l'expression approchée :

$$\varphi = 1 - [y + (e - 1) z + (e - 1)^2 u].10^{-4},$$

ce qui donne, en remarquant que $\frac{\chi}{\chi - \chi'} = \frac{T}{t}$:

$$(31) \quad \alpha'_0 = \frac{1}{273}\left[1 + \frac{T}{t} \cdot \frac{y - y' + (e - 1)(z - z') + (e - 1)^2 (u - u')}{10^4 - y - (e - 1) z - (e - 1)^2 u}\right.$$

$$(32) \quad \alpha_0 = \frac{1}{273}\left[1 + \chi \cdot \frac{\frac{\partial y}{\partial \chi} + (e - 1)\frac{\partial z}{\partial \chi} + (e - 1)^2 \frac{\partial u}{\partial \chi}}{10^4 - y - (e - 1) z - (e - 1)^2 u}\right].$$

Cette dernière formule devient particulièrement simple et sûre dans le cas de $e = 1$, c'est-à-dire si la pression p est égale à π centimètres. On a alors :

$$(32\ bis) \quad \alpha'_0 = \frac{1}{273}\left[1 + \frac{\chi}{10^4 - y} \cdot \frac{\partial y}{\partial \chi}\right].$$

C'est pour cette raison que j'ai inscrit, dans le tableau ci-après, les valeurs de α'_0, en même temps que celles du coefficient vrai α_0

(1) L'emploi du nombre 273 comme température thermodynamique de la glace fondante donne, comme on le verra, des résultats très satisfaisants. On sait que l'inverse, que nous prenons comme coefficient de dilatation unique du gaz parfait, est $\omega = 3663.10^{-6}$. Toutefois il eût peut-être été préférable d'adopter $\omega = 366.10^{-5}$.

et du coefficient moyen α_0^t sous la pression de 76 centimètres, calculés au moyen des formules (29) et (32).

3° *Coefficient moyen de pression entre* 0° *et* t° (volume constant). — Soit V_0 le volume occupé par une certaine masse gazeuse à 0° sous la pression P_0. Suivant qu'on la portera à t° sous pression constante, ou à volume constant, elle prendra le volume $V = V_0(1 + \alpha t)$, ou la pression $P = P_0(1 + \beta t)$, α et β étant les coefficients moyens correspondants.

La compressibilité de ce gaz à t° entre les pressions P_0 et P est représentée, conformément aux formules (1) et (2), par:

$$\frac{VP_0}{V_0P} - 1 = A\,(P - P_0),$$

A étant le coefficient moyen d'écart à t° entre P_0 et P.

Après substitution et simplifications on obtient:

$$(33) \qquad \alpha - \beta = AP_0\beta\,(1 + \beta t),$$

$$(33\,bis) \qquad \alpha - \beta = e\beta.10^{-4}\,(1 + \beta t)\,\{\,z_t + u_t\,[2\,(e - 1) + \beta t]\,\}.$$

Je rappelle que u peut être négligé quand il est < 0.

J'ai calculé les coefficients moyens β_0^{100} sous la pression initiale de 76 centimètres, au moyen de la formule (33), en remplaçant d'abord dans le deuxième membre β par $(\alpha - 5.\,ez.\,10^{-7})$, qui est une première valeur très approchée. Il n'y a pas eu lieu, en général, de procéder à une troisième approximation.

Je ne saurais trop insister, au point de vue de la critique des déterminations expérimentales de α et β, sur l'importance du critérium fourni par la valeur de $(\alpha - \beta)$, dont le calcul présente un haut degré de certitude [1].

En particulier, $\alpha = \beta$ si à la température t (supérieure) le gaz suit la loi de Mariotte sous la pression considérée, ce qui arrive sensiblement pour l'azote et l'oxyde de carbone à 100° [2].

4° *Coefficient vrai de pression à* 0°. — Ce coefficient s'obtient, comme on le sait, en divisant le coefficient vrai α_0 par le produit $p_0\mu$

---

(1) On peut voir, par exemple, que les $(\alpha - \beta)$ de Regnault sont beaucoup trop grands.

(2) En réalité, pour ces deux gaz, dont la pression critique est faible, le terme en u est < 0, en même temps que z est sensiblement nul à 100°. Il en résulte que $\alpha > \beta$, comme pour l'hydrogène; mais la différence est très faible.

de la pression et du coefficient de compressibilité (Voir form. 17), ce qui donne :

$$(34) \qquad \beta_0 = \frac{\alpha_0}{1 + e.10^{-4}\,[z + (e-1)\,(2u + z^2.10^{-4})]}.$$

Gaz	Coefficients vrais à 0° × 10⁶			Coefficients moyens entre 0° et 100° × 10⁶				
				calculés		observés		
	α_π	α_{76}	β_{76}	α	β	α	β	τ
H (1)	3666	3668	3670	3669	3673	3661	3668	— 160°
Az	3667	3672	3671	3668	3668	»	3668	+ 100°
CO	3668	3674	3672	3669	3669	3669	3667	120°
O	3671	3676	3673	3671	3670			180°
AzO	3677	3678	3674	3674	3673			255°
C^2H^4	3731	3765	3735	3733	3720			560°
CO^2	3752	3751	3726	3724	3713	3710	3688	620°
Az^2O	3758	3762	3734	3731	3719	3719	3676	635°
C^2H^2	3759	3772	3741	3735	3724			635°
HCl	3779	3770	3741	3736	3722			680°
Cy	3924	3990	3900	3878	3839	3877	3829	890°
$(CH^3)^2O$	3940	4030	3926	3910	3867			910°
CH^3AzH^2	4023	4044	3939	3914	3870			985°
SO^2	4025	4010	3915	3890	3850	3903	3845	985°
$(CH^3)^3Az$	4043	4412	4197	4141	4048			1000°
$(CH^3)^2AzH$	4052	4218	4064	4013	3950			1010°
CH^4	3683	3695	3687	3683	3680			290°
C^2H^6	3772	3852	3798	3790	3766			630°
AzH^3	3991	3862	3808	3810	3786	3802		910°
CH^3Cl	4028	4031	3925	3914	3870			945°
PH^3	3774	3791	3758	3752	3737			685°
H^2S	3885	3822	3784	3772	3756			820°
Cl	3965	3910	3870	3832	3808			950°

5° *Comparaison avec les résultats des meilleures déterminations.* — Les divers coefficients inscrits dans le tableau ci-dessus, à part ceux de la première colonne, sont relatifs à la pression, soit constante, soit initiale, de 76 centimètres. J'en ai rapproché les nombres de Regnault relatifs à sept gaz, et celui de M. P. Chappuis relatif à l'ammoniac. Les difficultés particulières présentées par ce dernier, et les hypothèses faites à son sujet, pouvaient faire présager un écart beaucoup plus considérable, et j'ai été très satisfait de la concordance.

(1) Les coefficients de l'hydrogène sont calculés au moyen d'éléments moins certains que ceux des autres gaz. Ils paraissent un peu forts; mais ils deviendraient tout à fait acceptables si l'on adoptait pour le gaz parfait 366.10^{-5} au lieu de 3663.10^{-6}.

Parmi les nombres de Regnault, les uns s'accordent avec les miens, soit parfaitement, soit d'une manière satisfaisante ; les autres présentent des écarts notables.

Je crois établir que ces écarts sont dus principalement aux erreurs expérimentales de Regnault, en comparant par exemple nos résultats relatifs à l'anhydride carbonique à ceux de M. P. Chappuis.

J'ai calculé à cet effet les coefficients moyens α et β de ce gaz entre 0° et 100° sous la pression (soit constante, soit initiale) de 1 mètre de mercure. Il suffit pour cela de faire $t = 100$ et de donner à e la valeur convenable dans les formules (31) et (33 *bis*).

Voici les nombres à comparer :

Coefficient $\times 10^6$	Calculé	P. Chappuis	Regnault
α	3744	3742	»
β	3728	3724	3701

Remarque. — Tout commentaire serait superflu. Je tiens seulement à dire que je ne me fais pas d'illusion sur la valeur de mes formules en y, z et u, qui ont servi de base à ce calcul. Outre leur caractère purement empirique, elles ont actuellement le défaut de reposer sur l'emploi d'une échelle thermométrique arbitraire, dont le rapport avec l'échelle normale est inconnu : cette échelle est définie par les valeurs assignées aux températures critiques des divers gaz d'après les expériences qui ont semblé les meilleures à ce jour. Les pressions critiques interviennent d'une manière analogue.

L'accord remarquable de mes nombres calculés avec les résultats expérimentaux de M. Chappuis me permet seulement de croire que la plupart de mes coefficients sont approchés à un millième près de leur valeur (précision déjà bien difficile à atteindre expérimentalement) et que mes formules conduiraient à des résultats aussi exacts que les meilleures expériences, si les coefficients en étaient déterminés au moyen de données critiques mieux connues et rapportées au thermomètre normal.

6° *Formules de dilatation.* — A titre d'exemple, j'ai calculé les formules de dilatation à partir de 0° sous la pression constante de 76 centimètres des anhydrides carbonique et sulfureux. Il suffit à cet effet de donner à t successivement plusieurs valeurs convenablement choisies dans la formule (31).

J'ai constaté qu'une formule à trois termes ne suffit pas à représenter la dilatation de — 50° pour l'un et 0° pour l'autre jusqu'à 200°,

avec la précision que comporte le calcul. Les formules suivantes, à quatre termes, donnent satisfaction dans ces limites, et c'est tout ce que l'on demande en général à des formules empiriques.

$$(35)\quad \begin{array}{ll} CO^2 : & 10^6.\alpha = 3751 - 0{,}477.t + 29.10^{-4}.t^2 - 83.10^{-7}.t^3 \\ SO^2 : & 10^6.\alpha = 4010 - 1{,}86.t + 78.10^{-4}.t^2 - 12.10^{-6}.t^3 \end{array}$$

Mais elles n'indiquent pas le *minimum* par lequel passe (du moins en général) le coefficient α_0^t, au voisinage de la température τ, en vertu de l'observation suivante.

Remarque. — A 0° le gaz qui aurait pour point critique 93° suivrait la loi de Mariotte sous la pression π centimètres [1]. Son coefficient de dilatation α_0 serait donc égal dans cette condition à celui du gaz parfait. La formule (32 *bis*) donne en conséquence :

$$\frac{\partial y}{\partial \chi} = 0 \qquad \text{ou} \qquad \frac{\partial y}{\partial \Theta} = 0.$$

La courbe (21) en y est donc bien tangente à l'axe des Θ. D'une manière plus générale, on voit de même sur la formule (30) que, si l'on représente les volumes moléculaires à T° sous une certaine pression $\varepsilon\Pi$, en fonction de Θ, la courbe sera tangente à l'axe des Θ au point dont l'abscisse est Θ_1, point critique du gaz qui suivrait la loi de Mariotte à T° sous la pression $\varepsilon\Pi$, car son coefficient δ doit être égal dans ces conditions à celui du gaz parfait $\frac{1}{T}$.

Il en sera de même de la courbe $y = f(\chi)$ pour la valeur $\chi_1 = \frac{\Theta_1}{T}$.

Conséquence. — Proposons-nous d'étudier la dilatation de 0° à t° sous la pression constante P d'un gaz dont la pression critique est Π. Prenons $\varepsilon = \frac{P}{\Pi}$; l'expression du volume moléculaire de ce gaz en particulier ne contiendra pas de termes en z et u (les coefficients de l'expression de y seront d'ailleurs modifiés). L'équation (29) se réduit à :

$$(36)\quad \alpha_0^t = \frac{1}{273}\left[1 - \frac{\chi_0}{\varphi_0}\frac{\varphi - \varphi_0}{\chi - \chi_0}\right] = \frac{1}{273}\left[1 + \frac{\chi_0}{10^4 - y_0}\cdot\frac{y_0 - y}{\chi_0 - \chi}\right].$$

---

[1] En général $\varepsilon\Pi$; mais on se rappelle que j'ai choisi $\varepsilon = \frac{1}{76}$. Si l'on prenait $\varepsilon \gtrless \frac{1}{76}$, le nombre 93 serait remplacé par un autre plus ou moins voisin (Voir p 173).

Si l'on fait augmenter t, c'est-à-dire diminuer χ, le coefficient angulaire $\frac{y_0 - y}{\chi_0 - \chi}$ diminue. Le coefficient α_0^t diminue donc bien en général à mesure que t augmente, comme on le sait depuis Regnault.

Mais, lorsque l'extrémité mobile de la corde, après être passée par le point d'inflexion de la courbe $y = f(\chi)$, se dirige vers le point figu-

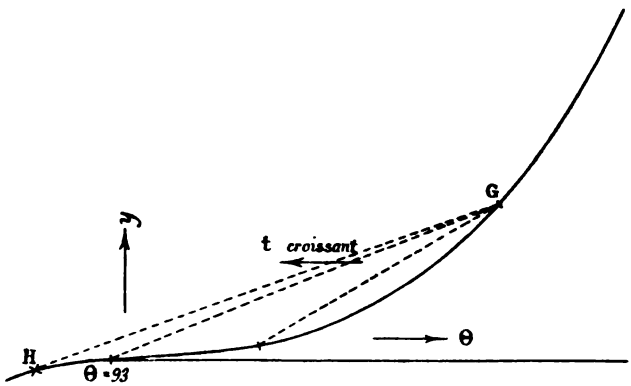


FIG. 6.

ratif H de l'hydrogène (*fig.* 6), le coefficient angulaire passe par un minimum [1], et il en est de même de α_0^t. La température pour laquelle a lieu ce minimum est un peu supérieure à τ. On obtiendra donc la valeur minima de α_0^t, à très peu près, quoique par excès, en faisant dans la formule (36) : $y = 0$, et $\chi = \frac{\Theta}{273 + \tau}$, c'est-à-dire $\chi = \frac{93}{273} = 0{,}34$. On obtient ainsi :

$$\alpha_0^\tau = \omega \left[1 + \frac{\Theta}{\Theta - 93} \cdot \frac{y_0}{10^4 - y_0} \right], \tag{37}$$

ω étant le coefficient du gaz parfait, que j'ai déjà supposé égal à $\frac{1}{273}$.

De même, on trouve aisément, au moyen des formules (27 *bis*), (28 *bis*) et (30), que le *coefficient vrai* α_t a pour valeur :

$$\alpha_t = \frac{1 + t.\,\alpha_0^t}{1 + t\omega}\,\omega \left[1 - \frac{\chi}{\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \chi} \right]. \tag{38}$$

---

[1] En réalité je ne connais que le point H sur cette portion de courbe dont les ordonnées sont < 0. Il se pourrait que le *minimum* n'existât que pour les gaz dont le point critique serait au-dessous d'une certaine valeur Θ_1. Pour les autres α_0^t tendrait vers une *limite* peu différente de la valeur α_0^τ.

Comme $\frac{\partial\varphi}{\partial\chi}$ est toujours $\leqq$ o, et que $\alpha_0^t > \omega$, on voit que $\alpha_t > \omega$, quel que soit t.

On peut mettre aussi α_t sous la forme

$$(38\,bis) \qquad \alpha_t = \omega\left[1 + \frac{y_0 - y}{10^4 - y_0}\right]\left[1 - \frac{\chi}{\varphi}\cdot\frac{\partial\varphi}{\partial\chi}\right].$$

La première parenthèse augmente, mais de plus en plus lentement quand on s'approche de la température τ, pour laquelle elle est stationnaire. La deuxième passe par un minimum égal à 1 pour cette même valeur. On voit donc que α_t passe en même temps par un minimum dont la valeur est :

$$\alpha_t = \omega\left[1 + \frac{y_0}{10^4 - y_0}\right] = \frac{\omega}{\varphi_0}.$$

Ainsi, contrairement à l'opinion qui semble assez générale, les coefficients α_t et α_0^t définis de la manière usuelle n'ont pas pour *limite* ω. Le coefficient vrai, qui s'en approche le plus, ne descend pas au-dessous de 368.10^{-5} pour l'anhydride carbonique, ni de 375.10^{-5} pour l'anhydride sulfureux sous la pression atm sphérique.

Le coefficient $\delta = \frac{1}{v}\frac{\partial v}{\partial t}$ (formules 27 *bis* et 30) prend seul pour tous les gaz, au moment où ils suivent la loi de Mariotte, la valeur qui convient au gaz parfait : $\left(\frac{1}{T} = \frac{1}{273 + \tau}\right)$; mais cette valeur n'est pas commune à tous les gaz.

Revenons maintenant à nos formules de dilatation. Si, comme il semble, le minimum de α_0^t n'est pas suivi d'un maximum, la dérivée des expressions (35) doit être de degré impair, et ces formules elles-mêmes du quatrième degré au moins. Je n'insiste pas sur l'application, qui ne présente aucune difficulté.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Dans ce travail j'ai établi, sous le nom de *loi des volumes moléculaires*, une loi limite destinée à remplacer le principe très vague d'Avogadro-Ampère. Cette loi s'applique non à l'ensemble des gaz, mais à des groupes qu'il m'a été possible de distinguer par l'étude de la compressibilité.

J'ai appliqué cette loi au calcul des densités et des coefficients de dilatation d'un grand nombre de gaz. Chaque fois qu'une détermination expérimentale précise a été exécutée, elle s'est trouvée d'accord avec mon calcul, ce qui confirme le principe des *états correspondants* sur lequel je me suis appuyé.

J'ai entrepris en outre une série d'applications, dont quelques-unes ont déjà fait l'objet de communications à l'Académie des Sciences : étude des vapeurs saturantes, des vapeurs anomales, de la dissociation et de la polymérisation dans les gaz, des chaleurs spécifiques des gaz, de la vitesse du son, etc.

N.-B. — Les trous blancs marqués sur les planches qui accompagnent l'article de M. A. Guébhard sont dus à un accident arrivé pendant le tirage de ces planches.

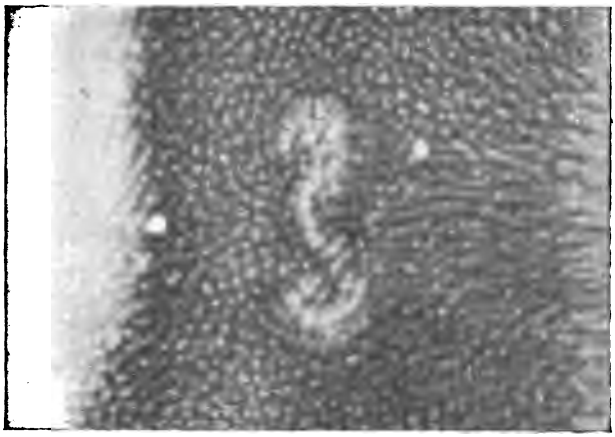


Fig. 1. — Épreuve d'une partie de plaque voilée, laissée 20 minutes au repos dans 40 centimètres cubes de bain pyrogallique dilué. Sitôt survenue la stase apparente du bain, il en avait été rajouté, de 1 centimètre de haut, trois gouttes.

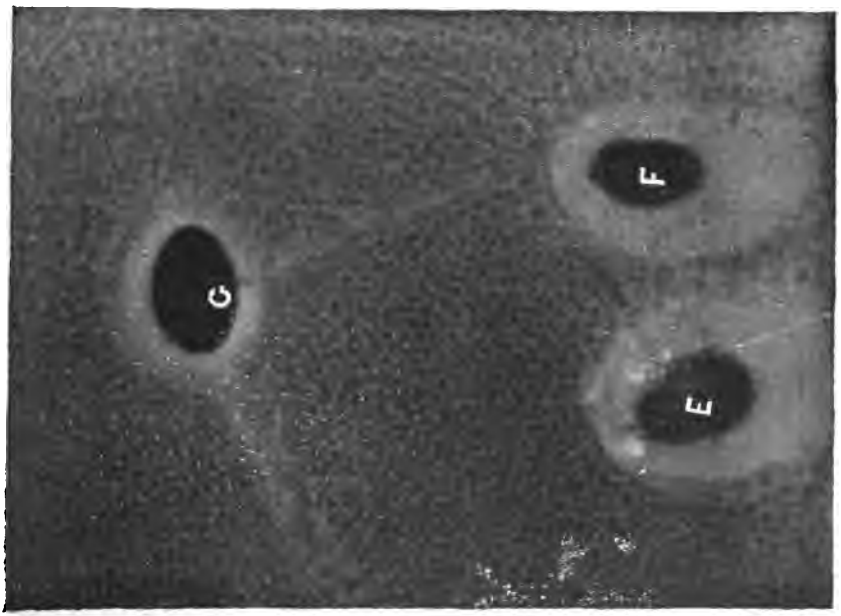


Fig. 2. — Épreuve légèrement réduite de plaque instantanée 9 × 12, abandonnée, sans exposition préalable, dans 45 centimètres cubes de vieux bain pyrogallique rénové. *E*, *F* médius et index de gant de chevreau bourrés de grenaille ; *G* petit doigtier de caoutchouc gonflé d'eau, tenu posé sur la gélatine entre trois doigts de la main gauche pour constater l'effet (nul) des vibrations du pouls. Les taches blanches en *E* sont dues à des parcelles sèches de pyro, les rayons du doigtier, l'un, probablement, à une fusée graisseuse, l'autre à une *giclée* liquide. Le pointillé blanc provient d'une détérioration du cliché typographique.

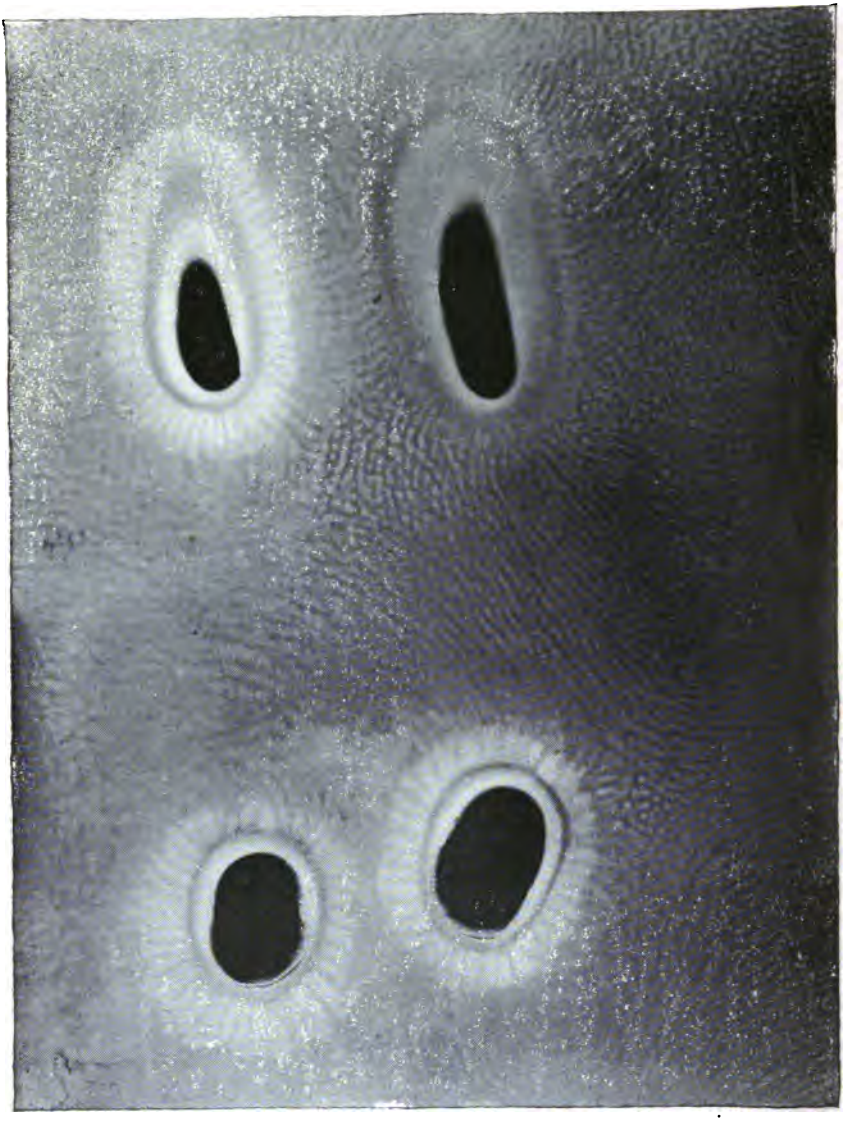


Fig. 3. — Épreuve légèrement réduite d'une portion de plaque lente 13×18, Graffe et Jougla, exposée 3 secondes à la lumière jaune faible et laissée 14 minutes dans 80 centimètres cubes d'eau additionnés de 10 centimètres cubes de pyrogallol concentré de Liesegang, avec, en bas, médius et index de la main gauche; en haut, deux boyaux de caoutchouc arcboutés sur le rebord de la cuvette pendant l'expérience, et gonflés, l'un d'eau chaude, à gauche, l'autre à température ordinaire, à droite. Le pointillé blanc et les stries en dessous de l'empreinte gauche supérieure proviennent d'une détérioration du cliché typographique.

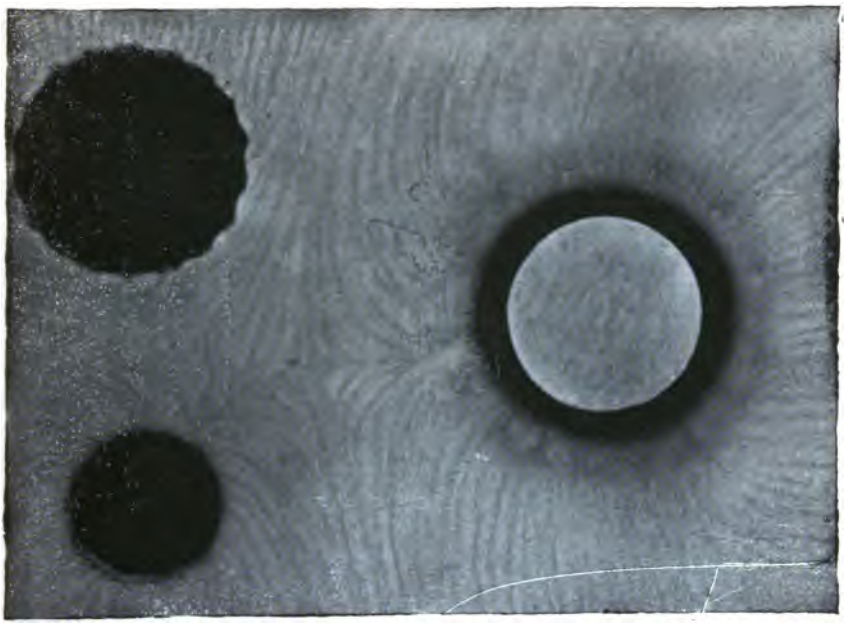


Fig. 4. — Épreuve d'une plaque mouillée, sur laquelle ont été déposés, après immersion dans un bain pyrogallique de 10 millimètres de hauteur, en bas, une bobèche de cristal mince, en haut, deux petits ustensiles de ménage d'enfant, assiette et moule à gâteaux en fer-blanc plissé, pour étudier l'influence de l'inclinaison des parois sur la production de l'auréole.

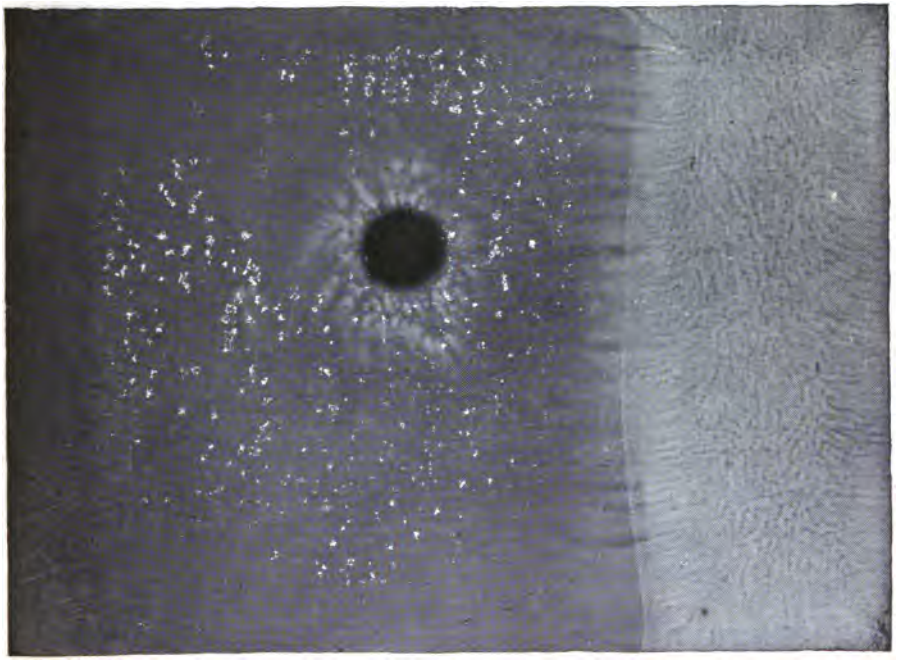


Fig. 5. — Épreuve d'une plaque mouillée en son tiers de droite, sur laquelle, après immersion dans un bain très affaibli de 1 millimètre de hauteur, a été posée une boule de caoutchouc souillée de parcelles séchées de révélateur pyrogallique.

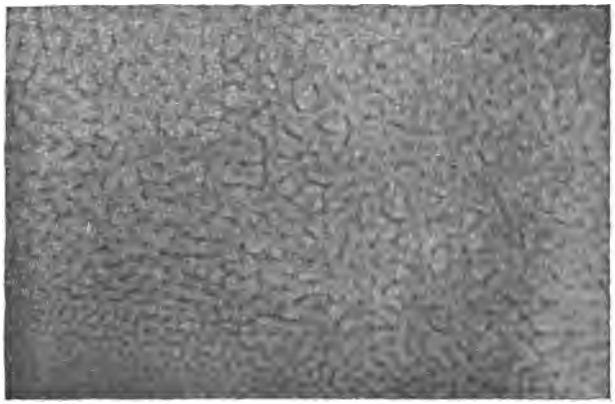


Fig. 6. — Épreuve d'une portion de plaque sèche 9 × 9 placée dans la cuvette, *face en bas*, obliquement relevée, du côté de l'angle droit supérieur, par une nervure du fond.

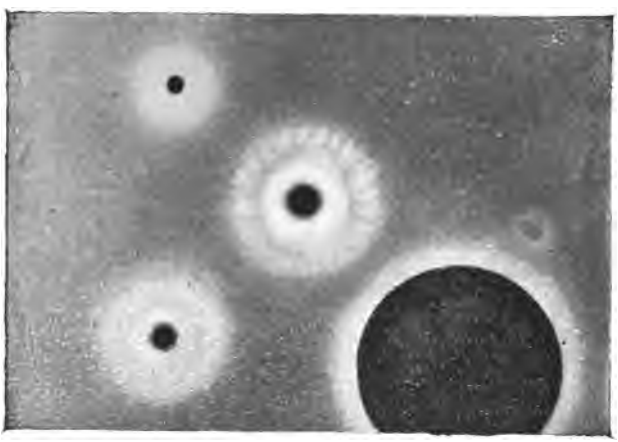


Fig. 7. — Épreuve d'une portion de plaque sèche 9 × 9 sur laquelle ont été apposés, après immersion dans un bain très appauvri et de faible épaisseur, une pièce de deux francs, deux billes inégales et un grain de gros plomb. Sur le cliché se distingue complètement l'effigie de la pièce de monnaie.

Fig. 8. — Superposition du tachetage à une impression précédente de la plaque. Contre-épreuve d'une portion de positif 9×12 laissé 14 minutes immobile dans 45 centimètres cubes de bain pyrogallique au maximum, étendu de son volume d'eau.

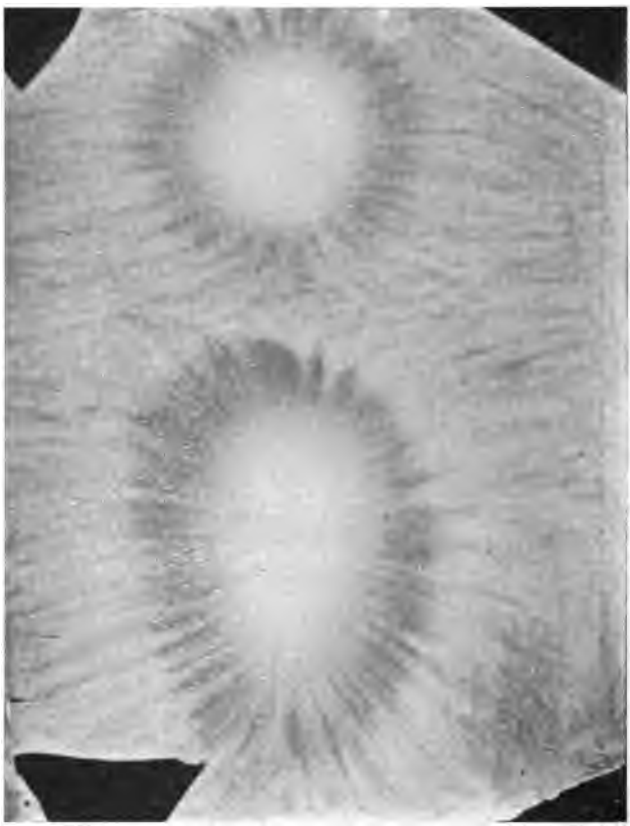


Fig. 9. — Effluves de deux pôles chauds obtenus en appliquant, pendant douze minutes, sur la face verre, seule émergente, d'une plaque posée sur des fragments de glace épaisse de 8 millimètres, dans un bain de 100 c. c. au diamidophénol : en haut, un doigt humain, (médius de la main gauche); en bas, un boyau de caoutchouc mince gonflé d'eau chaude, l'un et l'autre appuyés sur les rebords opposés de la cuvette de verre. (Portion de cliché 9×12 réduite de 1/17.)

Fig. 10. — Effluves de deux pôles froids obtenus en appliquant, pendant dix minutes, sur la face verre, seule émergente, d'une plaque retournée sur deux cylindres de verre, de 7 millimètres de diamètre, la base de deux tubes fermés, en fer-blanc de 15 millimètres de diamètre remplis de glace pilée. (Portion de cliché 9×12 en grandeur naturelle)

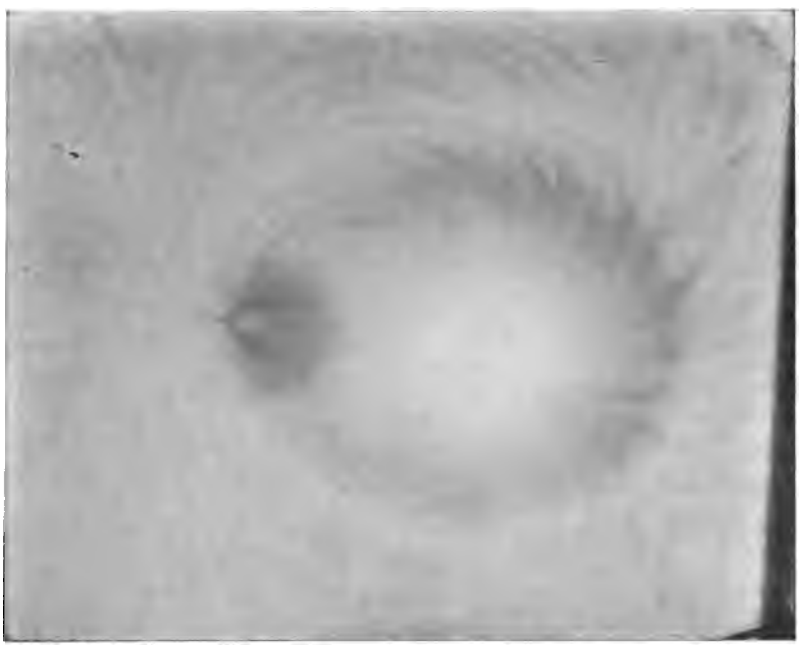


Fig. 11. — Effluves de deux pôles de noms contraires, et d'inégale intensité, l'un à 46° au début, 26° à la fin, l'autre à 0° tout le temps, le bain étant à 15°.

mann en se servant du phonographe; j'ai expliqué, dans un autre travail, que cela tenait à des vibrations accessoires qui ont été introduites dans l'appareil.

B. — *Vocables des voyelles parlées*

Étant donné que j'ai photographié chacune des vibrations qui se produisent lorsqu'on *prononce* une voyelle, il s'ensuit que, pour avoir la vocable, c'est-à-dire la note qui accompagne toujours chaque voyelle, il suffit de compter le nombre de flammes par seconde, ce qui était très facile. J'ai fait alors *prononcer* naturellement, *sans chanter*, successivement chaque voyelle par une voix de femme, soprano, et une voix d'homme, baryton.

La vocable est obtenue en additionnant toutes les flammes ; le nombre de groupes représente la note, de telle sorte que, pour A, voyelle à trois flammes, la vocable étant n, la note est $\frac{n}{3}$; pour É, EU, O, la vocable étant n', la note est $\frac{n'}{3}$; et pour I, U, OU, voyelles à une flamme, la note et la vocable se confondent.

J'ai obtenu ainsi les résultats suivants :

	VOIX D'HOMME			VOIX DE FEMME		
I	540 vs	ut_3	(522)	864 vs	la_3	(870)
U	648 vs	mi_3	(652)	972 vs	si_3	(978)
OU	648 vs	mi_3	(652)	972 vs	si_3	(978)
É	1080 vs	ut_4	(1044)	1080 vs	ut_4	(1044)
EU	962 vs	si_5	(978)	972 vs	si_3	(978)
O	972 vs	si_3	(978)	972 vs	si_3	(978)
A	1620 vs	la_4	(1740)	1944 vs	si_4	(1955)

Il est certain que, lorsqu'on a prononcé une des voyelles, on a émis la note correspondante, c'est-à-dire la vocable ; mais il est évident qu'avec une autre voix, ou une façon de prononcer différente, on aurait eu une autre vocable, se rapprochant, il est vrai, de la première ; si on se rappelle la définition que j'ai donnée plus haut, on comprendra que, la voyelle se formant dans la bouche, les cordes vocales y ont une part très accessoire ; dans un même pays, chacun prononce A à peu près de la même façon ; mais on pourrait, en faisant attention, prononcer A d'une façon différente, ce qui donnerait une autre vocable.

C. — *Combinaison des voyelles.*

Y a-t-il réellement sept voyelles fondamentales, à une, deux et trois flammes ; ou bien pourrait-on en réduire le nombre en les combinant entre elles ?

C'était une question intéressante à étudier.

J'ai combiné, au moyen d'un tube bi ou trifurqué, les voyelles à une, deux et trois flammes ; par exemple, devant le tube bifurqué de la capsule, je faisais prononcer en même temps par deux expérimentateurs la même voyelle ou deux voyelles différentes, et j'examinais la flamme ainsi obtenue.

Ou bien je prenais un tube trifurqué et, avec trois expérimentateurs, je combinais les voyelles trois à trois. Je suis ainsi arrivé aux résultats suivants :

Il semble n'y avoir que quatre voyelles fondamentales : I, U, OU, à une flamme, et A à trois flammes ; É, EU, O, sont formées par la combinaison de quatre autres, c'est-à-dire que l'on a :

A + I = É
A + U = EU
A + OU = O

Pour le prouver, j'ai disposé l'expérience de la façon suivante : la flamme supérieure vibrait sous l'influence de A seul et donnait la flamme caractéristique de A ; la flamme inférieure vibrait sous l'influence de A + I, et j'ai ainsi obtenu la flamme caractéristique de É ; mais ce qu'il y a de particulier, c'est que l'on n'a pas :

A + I = É
(3 + 1 = 4 = 2 + 2)

On a :

3 + (— 1) = 2

On a de même :

A + (— OU) = O
A + (— U) = EU

S'il est vrai que A + (— I) = É, on doit obtenir cette équation en remplaçant A, I et É par les vibrations correspondant aux vocables trouvées plus haut ; c'est ce que l'expérience vérifie exactement, aussi bien pour la voix d'homme que pour la voix de femme ; et cela est vrai même lorsque l'expérience a été faite à des moments différents et par des voix différentes, la voyelle étant toujours parlée.

VOIX D'HOMME	VOIX DE FEMME
A + (— 1) = É	A + (— I) = É
1620 — 540 = 1080	1944 — 864 = 1080
A + (— U) = EU	A + (— U) = EU
1620 — 648 = 972	1944 — 972 = 972
A + (— OU) = O	A + (— OU) = O
1620 — 648 = 972	1944 — 972 = 972

Ce qu'il y a de curieux, c'est que Grassmann a émis la théorie suivante, cinq ans avant Helmholtz.

« Les voyelles I, U, OU sont simples et caractérisées par un seul harmonique dont la position change avec le son de l'émission (une flamme) [1].

« A serait accompagné d'une série nombreuse d'harmoniques presque égaux (trois flammes) ; les autres seraient le résultat de la superposition de A avec l'une des voyelles précédentes.

O = A + OU
EU = A + U
É = A + I

Grassmann est arrivé à ces conclusions par de simples raisonnements, que l'on peut trouver à la page 616 de son mémoire.

II. — Voyelles chantées

Définition. — *Les voyelles chantées sont celles pour lesquelles la note prédomine sur la vocable ; pour la voix d'homme, le tracé ne se maintient que sur certaines notes ; pour la voix de femme (du moins dans mes expériences), il n'y a pas de tracé caractéristique, les vibrations ressemblent à celles d'un diapason. Les voyelles chantées sont formées principalement par les cordes vocales, et accessoirement par le résonateur bucco-naso-pharyngien.*

Nous allons examiner deux cas : la voix de l'homme et la voix de femme.

A. — *Voix d'homme.*

Première expérience. — On chante les voyelles successivement sur la même note, cette note étant celle qui semble la plus naturelle, et alors on obtient les résultats suivants :

---

(1) *Wiedemann's Annalen*, t. I, p. 606.

1° I, U, OU présentent toutes cinq groupes de une flamme par $\frac{1}{54}$ de seconde, c'est-à-dire que la hauteur du son est de 540 vibrations (ut_3, 522) ; ce nombre se confond sensiblement avec la vocable trouvée précédemment, ce qui confirme la théorie de Grassmann ; É, O, chantées ensuite sur la même note ut_3, donnent cinq groupes de deux flammes par $\frac{1}{54}$ de seconde, ce qui correspond à 1 080 vibrations totales (ut_4, 1 044) très voisin de si_3, vocable admise.

Enfin A est caractérisé par cinq groupes de trois flammes, ce qui correspond à 1 620 vibrations totales (la_4, 1 740), nombre encore très voisin de la vocable de A.

On peut donner l'explication suivante :

On a chanté les voyelles successivement sur la même note ut_3, et si la note ut_3 est représentée par le nombre de groupes, on a eu toujours la même note ut_3 ; mais la vocable était perceptible.

ut_3 pour I, U; OU
si_3 pour É, O
la_4 pour A.

Et, dans ce cas, la note est représentée par le nombre de groupes, et la vocable par le nombre de flammes.

Deuxième expérience. — Il s'agit de voir maintenant ce que deviennent les voyelles quand on les chante sur une note aussi grave et aussi aiguë que possible.

I grave se maintient à une flamme
I aigu se maintient à une flamme
U grave devient à deux flammes (EU)
U aigu se maintient à une flamme
OU grave devient à deux flammes (O)
OU aigu se maintient à une flamme
È grave devient à une flamme (I)
É aigu se maintient à deux flammes
O grave se maintient à deux flammes
O aigu se maintient à deux flammes
A grave se maintient à trois flammes
A aigu devient à deux flammes

Donc on peut dire que, pour la voix qui a fait l'expérience, I et O conviennent aux notes graves et aiguës ; U et OU conviennent aux notes aiguës et se transforment en EU et O dans les notes graves.

É se change en I dans les notes graves et se maintient dans les notes aiguës

A passe à O dans les notes aiguës et se transforme dans les notes graves.

B. — *Voix de femme*

Les flammes des voyelles chantées ne ressemblent en rien à celles des voyelles parlées; nous avons alors des flammes toutes égales entre elles, également distantes les unes des autres, et il n'y a aucune différence entre la flamme de la_3, donnée par un diapason, et la flamme de la même note chantée sur une quelconque des voyelles. Que la voyelle soit chantée sur une note grave ou sur une note aiguë, il est impossible, au seul aspect de la flamme, de la distinguer, mais on retrouve toujours la note exacte.

Ces expériences conduisent à des conclusions curieuses.

1° Quand on a cherché, et c'est ce qu'ont fait tous les expérimentateurs, la vocable d'une voyelle chantée, il est impossible de la trouver, puisque, souvent, elle n'existe plus ; en effet, quand on chante, la note domine et la vocable n'est plus perceptible.

2° Quand on chante, ce sont les cordes vocales qui vibrent et qui ont le maximum d'influence, la forme de la cavité bucco-naso-pharyngienne est accessoire ; alors ce que l'on inscrit ce sont les vibrations des cordes.

3° Les orateurs parlent et on entend ce qu'ils disent, parce qu'ils lâchent la note et conservent leur vocable à eux, c'est-à-dire le tracé caractéristique de chaque voyelle ; au contraire, les chanteurs lâchent la vocable et conservent la note.

4° On chante faux lorsque la note émise est en discordance avec la vocable de la voyelle chantée ; et, suivant l'avis des professeurs de chant, et en particulier de M. Lefort, on peut dire : lorsqu'une voyelle est chantée sur une certaine note, si la note est fausse c'est que la voyelle est mal émise, c'est-à-dire que la vocable, qui est alors perçue, est en discordance avec la note ; mais, presque toujours, comme je viens de le dire, les chanteurs conservent la note et lâchent la vocable, c'est-à-dire prononcent mal.

RÉSUMÉ

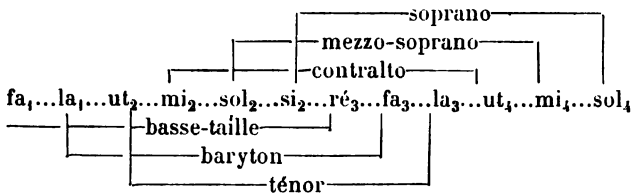
Définition. — On appelle *voyelles* des sons produits, dans l'intérieur des résonateurs supra-laryngiens, par une vibration aérienne de nature encore indéterminée.

Division. — Il faut distinguer deux sortes de voyelles : les voyelles *parlées* et les voyelles *chantées*.

Les premières sont émises sur certaines notes communes à tous les registres et très voisines de ut_3.

Les autres sont émises sur une note quelconque.

Tableau indiquant la portée assignée à chaque voix.



I. *Voyelles parlées.* — 1° Une voyelle parlée présente, à étudier, trois points :

a. Le mode de groupement des vibrations;

b. Le nombre de groupements par seconde ;

c. Le nombre total des vibrations.

II. *a.* La disposition et le nombre des vibrations dans le groupe caractérise la voyelle.

b. Le nombre de groupements donne la note fondamentale sur laquelle la voyelle est prononcée.

c. Le nombre total des vibrations donne ce qu'on est convenu d'appeler la vocable.

III. Donc la vocable est fonction de la note et, pour A, la vocable est le 3e harmonique de la note fondamentale ; pour É, EU, O, le deuxième; pour I, U, OU, le premier.

IV. La vocable ne fait pas la voyelle, mais elle indique son degré de pureté ; c'est-à-dire qu'une voyelle pure doit toujours être prononcée sur une note, n, telle que l'on ait pour $An = \frac{N}{3}$, N étant une note voisine de si_2, pour É, EU, O, $n' = \frac{N'}{2}$, N′ étant une note voisine de si_3, et I, U, OU, doivent être prononcées sur des notes x, y, z, telles que l'on ait

$$N - x = N'_{É}$$
$$N - y = N'_{EU}$$
$$N - z = N'_{O}$$

V. On peut donc définir la *voix parlée* celle qui prononce toutes les voyelles sensiblement sur une même note ou sur une note très voi-

sine comprise dans la gamme ut_3 ; cette note varie avec le registre de la voix ; un baryton parle généralement de ut_3 à mi_3, tandis qu'un soprano parle de la_3 à si_3.

VI. *Voyelles chantées.* — Si on s'écarte de ces notes voisines de ut_3, on a la voyelle chantée ; les groupements disparaissent et avec eux la vocable, et on ne retrouve que la note fondamentale; on peut donc dire que la voyelle parlée devient chantée au moment où le groupement disparaît.

VII. La disparition du groupement ne se fait pas brusquement à une note donnée, et on passe peu à peu de la voyelle parlée à la voyelle chantée.

VIII. Or, comme le groupement et la vocable sont caractéristiques d'une voyelle pure, les voyelles chantées sont impures, sauf dans le voisinage de ut_3 ou dans la gamme ut_3, et c'est la note fondamentale qui domine.

Donc la diction des chanteurs sera toujours inférieure à celle des diseurs, qui conservent la vocable et lâchent la note.

IX. Donc la *voix chantée* est celle dans laquelle chaque voyelle est émise sur des notes quelconques, et la voix chantée idéale serait celle qui donnerait n'importe quelle voyelle sur n'importe quelle note.

En pratique, les voix se divisent en un certain nombre de registres.

Conséquence. — On a cherché en vain la vocable et le tracé dans la voyelle chantée, puisque cette vocable et ce tracé ne sont plus perceptibles ; et les méthodes graphiques ont donné de mauvais résultats, parce que l'on n'avait pas tenu compte des causes d'erreur (embouchures, tubes, membranes).

Conclusion. — Il reste à trouver la caractéristique du groupe de chaque *voyelle parlée*, c'est-à-dire le tracé.

Pour cela il faut *expérimentalement :*

1° Décomposer le tracé de chaque voyelle en ses tracés élémentaires ;

2° Combiner les tracés élémentaires de manière à obtenir un tracé résultant ;

3° Comparer le tracé théorique ainsi obtenu au tracé obtenu directement ; ces deux tracés doivent coïncider dans toutes leurs parties ;

4° Le tracé résultant, découpé suivant la méthode de Kœnig, devra redonner la voyelle, quand il sera monté sur la sirène à ondes.

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

FAITES PENDANT L'ANNÉE 1897.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1897.

PRÉSIDENCE DE MM. BOUTY ET BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 décembre 1896 est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DUSSAUD, Député, Professeur à l'École de Mécanique de la Ville de Genève (Suisse).
Le R. P. LUCAS, Professeur au Collège Notre-Dame-de-la-Paix à Namur (Belgique).

M. LE PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, de l'Archiviste Trésorier, du Vice-Secrétaire, de deux Membres pour la Commission du *Bulletin* et pour le renouvellement partiel du Conseil.

M. le Président rappelle que le Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1895-1896 a été adressé à tous les Membres de la Société et demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Personne ne demandant la parole, le Rapport de la Commission des comptes est mis aux voix et adopté.

M. LE PRÉSIDENT proclame le résultat du vote. Sont élus :

Vice-Président : M. BENOIT (René).
Secrétaire Général : M. PELLAT.
Archiviste Trésorier : M. GAY.
Vice-Secrétaire : M. WEISS (Georges).
Membres de la Commission du Bulletin : MM. FOUSSEREAU et KROUCHKOOLL.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidents :

MM. Chappuis (James), Professeur à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures.
Favé, Ingénieur hydrographe de la Marine.
Poincaré (Lucien), chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.
Serré-Guino, Examinateur honoraire à l'Ecole Militaire de Saint-Cyr.

Pour deux années :

M. Voisenat, Ingénieur des Télégraphes.

Pour une année :

M. Canet, Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée.

Membres non résidents :

MM. Battelli, Professeur à l'Université de Pise (Italie).
Brunhes, chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Dijon.
Delaunay, Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture de Novo-Alexandria (Russie).
Gossart, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

M. Bouty, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des Travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

Il invite M. Henri Becquerel, membre de l'Institut, à venir occuper ce fauteuil.

M. Dongier donne lecture d'une lettre que M. Démichel a adressée à M. le Secrétaire général, où il attribue à Prazmowski l'emploi, depuis 1873, dans l'analyseur à pénombre, de deux lames demi-ondes accolées, dont les sections principales font entre elles un angle de 3° environ.

M. Dongier fait remarquer que ce dispositif est décrit dans le *Traité d'optique* de M. Mascart ; il est donc classique, et c'est pour cela qu'il n'a pas cru nécessaire d'en parler dans sa communication. Le dispositif de Prazmowski présente, sur l'analyseur à une seule lame demi-onde, l'avantage de deux plages qui sont également affectées par la lumière parasite du jaune provenant du chlorure de sodium incandescent. La précision du pointé est même supérieure à celle qu'indique M. Démichel ; elle est de deux minutes, lorsqu'on observe de la lumière rectiligne, au lieu de vingt minutes.

Illusions qui accompagnent la formation des pénombres. Applications aux rayons X et à la vision, par M. Sagnac. — *Pénombres et rayons X.* — Quand une source rayonnante S de diamètre apparent sensible éclaire un objet opaque B, l'ombre d'un objet A placé dans la pénombre de B peut présenter une forme inattendue souvent complexe. Toutes ces apparences s'expliquent par la propagation rectiligne des rayons et par la variation de l'impression rétinienne ou photographique avec l'intensité de l'éclairement, suivant qu'on observe les ombres sur un écran ou qu'on les photographie. — La même explication s'applique aux ombres données par une source de rayons X, de diamètre apparent sensible, condition favorisée par les longues poses. Cela suffit pour rendre compte des phénomènes attribués à des propriétés spéciales des rayons X par M. Mauritius (1), par M. Villari (2) et par M. Abel Buguet (3).

Illusions de la vue. — Des apparences analogues à celles des ombres se produisent à la vue pour deux images voisines qui ne se forment pas exactement sur la rétine. Il peut y avoir, en particulier, attraction ou répulsion apparente d'un objet A par un objet B placé près de l'œil, suivant que l'image A′ de A se forme en arrière ou en avant de la rétine. Ces apparences sont faciles à reproduire avec des systèmes optiques; en particulier, on peut les photographier dans la chambre noire à objectif. — On les observe dans des conditions plus complexes quand l'œil vise à travers un système optique, au microscope par exemple, un objet qui n'est pas exactement au point. Les cils de l'œil peuvent alors jouer le rôle de l'un des deux objets.

Indépendamment du renversement de la sensation, l'œil diffère des systèmes optiques, dans les apparences actuelles, en ce qu'il donne d'un point A pour lequel il n'est pas accommodé, non pas une tache de diffusion à peu près uniforme, mais presque uniquement quatre ou cinq petites taches formant comme autant d'images de A. De là une complication dans les illusions signalées. De là, aussi quand on regarde le bord d'un obstacle ou une fente, sans accommoder exactement la vue, de fausses apparences de franges.

Propriétés spéciales de la rétine et de la plaque photographique. — Outre les effets qui dépendent de la variation de l'impression rétinienne ou photographique avec l'intensité de l'éclairement, il peut y avoir production d'un maximum ou d'un minimum apparent là où l'intensité, d'après la propagation en ligne droite présente une discontinuité dans sa variation. De là, dans les pénombres d'écrans à bords rectilignes, de fausses franges de diffractions de la position desquelles MM. Calmette et Thuillier (4),

---

(1) Mauritius, *Wiedemann's Annalen*, septembre 1896, p. 346.
(2) E. Villari, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 31 août 1896, p. 420.
(3) Abel Buguet, *loc cit.*, 2 novembre 1896, p. 689.
(4) L. Calmette et G.-T. Thuillier, *loc. cit.*, 20 avril 1896, p. 877.

M. Fomm [1] et M. Kümmel [2] ont déduit à tort des longueurs d'onde pour les rayons X [3].

En tenant compte des remarques précédentes, on pourra toujours interpréter les apparences des ombres données par une source dont on connaît la forme, l'étendue et l'éclat des différents points. On évitera ainsi d'attribuer aux rayons X des propriétés spéciales qu'ils ne possèdent réellement pas, ou d'interpréter par de faux jugements de l'œil des effets d'optique que des phénomènes produits en dehors de l'œil permettent d'expliquer.

Pendant le dépouillement du scrutin, M. Guillaume indique les conclusions d'un mémoire paru dans le dernier volume des *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures : Nouvelles déterminations des mètres étalons du Bureau international*, par J.-René Benoît et Ch.-Ed. Guillaume.

Les étalons en platine iridié appartenant au Bureau international ont soit la forme en X, étudiée par Tresca, soit, pour les premières règles construites, la forme rectangulaire. Les tracés ont été faits au début sur poli mat, plus tard sur poli spéculaire. Les premières de ces règles datent de l'année 1879; les dernières ont été livrées au Bureau en 1888.

Les étalons ont subi des traitements très différents; les uns sont restés presque toujours dans des armoires, à la température ambiante; d'autres, au contraire, ont été fréquemment en usage dans les comparateurs et ont été soumis à de nombreux cycles de températures comprises entre 0° et 40° environ.

Il était intéressant, en dehors des comparaisons absolues à l'aide des procédés imaginés et mis en œuvre par M. Michelson, de déterminer, par les comparaisons systématiques, les différences des règles entre elles. Ce travail a été fait pour des groupes plus ou moins étendus de règles, par divers observateurs. Les comparaisons comprennent un intervalle de quatorze années (1880 à 1894) et portent sur huit règles.

La discussion d'ensemble de ces résultats a montré que les divergences dans les équations de ces règles, par rapport au Prototype international, diffèrent de leur valeur moyenne d'une quantité toujours inférieure à $0^{\mu},3$; les plus grands écarts portent sur des règles dont les tracés ne sont pas très satisfaisants et peuvent être attribués à des erreurs d'observation.

La comparaison de plus d'un millier de mesures de la valeur micrométrique de deux vis de Brunner, faites dans les années 1888 à 1895, ont montré que cette valeur semblait varier avec le temps; MM. Benoît et Guillaume en ont conclu, par élimination successive des facteurs qui entrent dans l'évaluation du pas de ces vis, que la cause probable de cette

---

(1) T. Fomm, *Wiedemann's Annalen*, septembre 1896, p. 350.

(2) Kummel, *Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Halle*, Bd. XXI.

(3) On trouve des exemples d'interprétations inexactes d'illusions d'optique dans le *Traité de la lumière* d'Herschell (t. II, p. 540 et 543 de la traduction de Werhulst; 1883.

variation provenait d'un changement dans le grossissement des objectifs; ces objectifs avaient été changés à la fin de l'année 1887. La variation du grossissement serait comprise pour les deux microscopes entre 2 et 3 pour mille.

M. Le Chatelier pense que ce changement est dû au sertissage, une variation spontanée des objectifs primitivement bien recuits lui semblant peu probable.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES
SUR L'EXERCICE 1895-1896.

Messieurs,

Le compte de l'exercice, clos le 30 novembre dernier, comprend les articles suivants :

Recettes.

		fr.
En caisse au 1er décembre 1895		2 469,61
	fr.	
Cotisations arriérées	340	
» 1896	8 140	
» 1897	20	8 500 »
Entrées		130 »
Souscriptions perpétuelles		2 180 »
Intérêt du capital		2 160,41
Vente des publications de la Société		204,45
Dons extraordinaires		300 »
Subvention ministérielle		240 »
Total des recettes		16 184,47

Dépenses.

		fr.
Loyer du siège social		600 »
Supplément pour séances extraordinaires et emploi des machines		352,05
Traitement de l'agent		2 000 »
Achat de livres et fournitures pour la Bibliothèque		348,30
Abonnements et reliures		393,80
Indemnité pour le service de la Bibliothèque		300 »
Bibliothèque circulante		75,50
Frais de bureau, distribution du Bulletin		987,60
Recouvrement des cotisations		172,01
Frais d'expériences		115,25
Séances de Pâques		563,60
Don à la Société des Amis des Sciences		100 »
Gravure du Bulletin		94,60
Impressions Gauthier-Villars et fils	4 431,97	
— Deslis Frères	901,25	5 333,22
Achat de 10 obligations Midi		4 681,85
Total des dépenses		16 117,78

D'où résulte un excédent de recettes, en caisse au 1er décembre 1896, de	66,69
TOTAL ÉGAL A CELUI DES RECETTES	16 184,47

Si, dans le résumé ci-dessus, on laisse de côté l'encaisse au début de l'Exercice, les souscriptions perpétuelles, les dons extraordinaires et l'achat des obligations, on voit que les recettes normales de la Société ont été pendant l'Exercice de 11 234 fr. 86, tandis que les dépenses courantes ont atteint 11 435 fr. 93.

Il y a donc un excédent de dépenses de 201 fr. 07.

La Société a, cette année, à peu près équilibré ses recettes et ses dépenses, et cela montre que la situation s'est sensiblement améliorée, grâce à l'augmentation du nombre des membres.

Détail des comptes relatifs aux publications.

	fr.
MM. Gauthier-Villars et fils :	
Bulletin des séances	2 215,55
Circulaires et impressions diverses	980,55
Ordres du jour des séances (Novembre-Juillet 1895)	1 219,87
Expédition des volumes	16 »
TOTAL	4 431,97
MM. Deslis Frères :	
Ordres du jour (Janvier-Juin 1866)	901,25

Situation.

La situation de la Société au 30 novembre 1896 se résume ainsi :

Actif.

	fr.
148 obligations, Midi et Est, achetées 60 014 fr. 32 et valant	71 137 »
En caisse au 30 novembre 1896	66,69
TOTAL DE L'ACTIF IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE	71 203,69

Passif.

	fr.	
Mémoires dus à MM. Gauthier-Villars et fils :		
Bulletin des séances	2 129,90	
Circulaires et impressions diverses	238,85	
Ordres du jour des séances	226,20	
Expédition des volumes et fournitures	43,50	
Mémoires dus à MM. Deslis Frères :		
Bulletin des séances	970,10	
Circulaires, impressions diverses et frais	176,80	
Circulaires, impressions diverses et frais	55,75	
Divers :		
Dû au *Journal de Physique*	110,50	
TOTAL		3 94,560
D'où ressort un excédent d'actif de		67 258,09

Si on ajoute la valeur de l'actif non immédiatement réalisable, savoir :

Volumes en dépôt chez MM. Gauthier-Villars et fils :

Coulomb.....	619 volumes	3 776 volumes à 6fr l'un..	22 656 »
Ampère I.....	677 »		
Ampère II.....	794 »		
Pendule I.....	797 »		
Pendule II.....	889 »		

Cotisations à recouvrer, évaluées à..... 500 »

On obtient pour l'*avoir total de la Société*..... 90 414,09

Dans l'actif de la Société se trouvent comprises deux sommes provenant de dons et ayant des affectations spéciales, savoir :

Fonds Guébhard pour la Bibliothèque..... 9.000

Don pour le volume des Constantes..... 5.000

Le fonds Guébhard figurait dans le compte de l'année dernière pour 9 500. Il a été réduit de 500 francs par suite de l'imputation de dépenses faites pour la Bibliothèque.

Statistique.

Au 1er décembre 1895..... 847 Membres

Reçus en 1896..... 51

TOTAL..... 898

A déduire :

Décédés..... 22
Démissionnaires ou rayés.... 11 } 33

Membres au 1er décembre 1896..... 865

Savoir :

405 à Paris,
310 en province,
150 à l'Etranger.
865

Les membres perpétuels sont au nombre de 244, savoir :

222	(dont 30 décédés, ayant versé	200 francs), soit	.....	44.400
6	— 1 —	150	.....	900
12	— 1 —	100	.....	1.200
4		50	.....	200

MONTANT DES SOUSCRIPTIONS PERPÉTUELLES..... 46.700

La Commission a constaté la régularité des écritures et le dévouement que M. le Trésorier ne cesse d'apporter dans l'accomplissement de sa tâche ; elle vous propose de lui adresser des remerciements en approuvant les comptes qu'il a présentés.

Paris, 5 janvier 1897.

Les Membres de la Commission,

Colonel Bassot, Commandant Renard et Lucien Bordet, Rapporteur.

SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1897.

Présidence de M. H. Becquerel.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 janvier est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bordé (Paul), Ingénieur opticien à Paris.
Charle (H.), Professeur au collège de La Rochefoucauld, à Vienne.
Diomar, Professeur au lycée d'Auch.
Salmon, Professeur au lycée de Nîmes.
Stiassnie, Constructeur de microscopes à Paris.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. E. van Overlopp, commissaire du Gouvernement près la section des sciences de l'Exposition internationale de Bruxelles en 1897, annonçant qu'une section spéciale des sciences (section 5 *bis*) sera consacrée exclusivement aux sciences pures, dégagées de toute idée commerciale ou industrielle. — Les savants sont invités à y produire leurs travaux et à faire connaître les résultats qu'ils ont obtenus et les méthodes qu'ils ont suivies, soit par l'exposition des instruments spéciaux qui leur ont servi, soit par celle de photographies ou de schémas explicatifs, ou même par les ouvrages ou brochures qui ont rendu compte de ces travaux.

Les personnes désireuses d'exposer dans la classe de Physique peuvent obtenir tous les détails nécessaires en s'adressant, sans délai, au Bureau de la classe 81, dont le Président est M. E. Rousseau, Professeur à l'Université de Bruxelles, Président de la Commission consultative des Poids et Mesures, 20, rue Vautier, et le Secrétaire M. L. Gérard, Professeur à l'Université libre de Bruxelles, directeur adjoint de l'Institut Solvay, 6, rue du Méridien, à Bruxelles.

M. René Benoît élu vice-président;

M. Pellat, réélu secrétaire général; M. J. Gay, réélu archiviste trésorier; M. G. Weiss, élu vice-secrétaire; MM. Battelli, Brunhes, Canet, J. Chappuis, Delaunay, Favé, Gossart, L. Poincaré, Serré-Guino et Voisenat, élus membres du Conseil, adressent leurs remerciements à la Société.

Vérificateurs du dressage des canons de fusils. — L'appareil du capitaine Dévé, construit par M. Jobin, sert : 1° à vérifier le dressage des canons de fusil ; 2° à vérifier la position convenable de la ligne de mire par rapport à l'axe de l'âme du canon, axe pris dans son dernier élément, particulièrement intéressant au point de vue du tir.

Il est basé sur l'emploi du principe bien connu de l'autocollimation.

1° Pour la première opération, le canon de fusil étant fixé à demeure dans des supports convenables, on fait mouvoir, le long d'une génératrice déterminée, un calibre en acier trempé muni de deux touches cylindriques du diamètre de l'âme du fusil; deux ressorts appliquent ces touches contre une génératrice. Le mouvement est donné au calibre par l'intermédiaire d'une tige carrée passant dans une fourchette de forme rectangulaire. A l'extrémité de ce calibre et normalement à son axe, se trouve un miroir plan.

On fait autocollimation sur ce miroir avec une lunette autocollimatrice spéciale.

Si la génératrice est droite, l'autocollimation établie au départ subsistera pendant tout le mouvement du calibre à miroir.

Si non, on refera l'autocollimation à chaque arrêt convenable du calibre. Une lecture sur les tambours de 2 vis micrométriques perpendiculaires donnera la valeur de l'inclinaison du calibre dans chaque position, par rapport à la position initiale. Ces lectures permettent un tracé de la courbe qu'affecte la génératrice examinée.

2° Pour qu'un fusil tire juste à une distance déterminée, il faut que la ligne de mire fasse un angle déterminé A avec le dernier élément de l'axe du canon de fusil.

A l'aide d'un fusil type, soigneusement essayé et tirant bien, on pourra fixer l'angle A sur l'appareil même, et cela de la manière suivante :

Le canon de fusil type est disposé sur des supports spéciaux présentant en creux la forme du guidon et en relief la forme du cran de hausse.

Dans l'extrémité du canon de fusil on introduit un calibre en acier trempé analogue au précédent, mais dont le miroir, monté sur un trépied, peut être rendu rigoureusement normal à l'axe géométrique du calibre.

On fait alors autocollimation sur ce miroir.

L'angle A est donc fixé sur l'appareil par deux directions fixes : 1° la ligne de mire, par les supports spéciaux de guidon et de cran de mire ; 2° l'axe du canon, par l'axe optique de la lunette en autocollimation sur le miroir du calibre.

En remplaçant le fusil type par un autre sur les supports de guidon et

de cran de mire, en y plaçant le calibre à miroir, l'autocollimation devra être établie sans qu'on ait à toucher à la lunette.

Si l'autocollimation n'a pas lieu, on peut pronostiquer exactement du tir du fusil examiné, en lisant sur un micromètre à dents de peigne la distance entre les fils réfléchis et les fils réels, et tenant compte du renversement de l'image.

M. Guillaume signale une curieuse observation faite à l'aide de l'explorateur optique de M. le capitaine Dévé. Si le canon de l'arme présente, près de son extrémité, une faible courbure décelée par l'explorateur, les résultats du tir sont très différents de ceux que l'on aurait pu prévoir; une déviation à droite dans la direction du dernier élément se traduit, par exemple, par un coup trop bas, mais en direction. On se rend compte aisément de ces anomalies en calculant les efforts nécessaires pour dévier latéralement un projectile ayant atteint toute sa vitesse. Une déviation de 1 pour 1000, qui devrait être prise tout entière dans les 6 derniers centimètres, nécessiterait, dans le cas d'une balle du fusil modèle 1886, un effort latéral de 11 kilogrammes sur ce parcours de 6 centimètres. La réaction sur l'arme est donc suffisante pour ramener le coup partiellement en direction. Quant à la déviation vers le bas, elle peut s'expliquer par le fait que la rotation imprimée à la balle vers la droite se transforme, par l'effet gyroscopique, en un mouvement de la pointe vers le bas, d'où résulte un glissement sur l'air.

M. Guillaume fait observer, à ce propos, combien les problèmes les plus élémentaires de la balistique sont abondants en surprises. La balle du fusil Lebel, par exemple, dont le rayon est de 4 millimètres et la vitesse angulaire de 2700 tours par seconde, se trouverait tout près de sa limite de rupture si elle n'était pas blindée; avec un calibre un peu plus fort et la même vitesse angulaire, le projectile en plomb serait une balle explosible.

Appareil industriel pour la mesure des dilatations. — M. H. Le Chatelier présente un appareil pour la mesure des dilatations, qui est disposé de façon à satisfaire aux exigences des laboratoires d'usine, c'est-à-dire qui permette d'obtenir des résultats suffisamment exacts en un temps très court et avec des opérateurs peu exercés. Le principe est celui de la méthode de Fizeau, mais le trépied et le mode de chauffage employés sont différents. L'objet mesuré, au lieu d'être posé sur le trépied, est pincé avec des vis, et il est renversé de telle sorte que l'observation des anneaux se fasse par le dessous. — Le chauffage est obtenu au moyen d'une enveloppe à double paroi où circule de la vapeur d'eau. — Une opération complète demande une heure et demie, et on peut obtenir des résultats exacts à 1 0/0 près.

M. Pellat fait remarquer qu'en s'appuyant sur les mêmes relations qui permettent de déduire de la formule de M. Van der Waals la loi des états

correspondants pour les pressions ou les volumes spécifiques des vapeurs saturantes, on obtient pour la chaleur latente de vaporisation λ une relation de la forme

$$\lambda = Kf(x),$$

dans laquelle $f(x)$ représente une fonction de la température réduite $x \left(= \frac{T}{T_e}\right)$ *indépendante de la nature de la substance*, et K une quantité constante pour une même substance indépendante de la température.

Cette relation, qui serait très importante, n'est malheureusement nullement justifiée par l'expérience. Ainsi, pour la température réduite 0,7, $f(x) = 1 + ax + bx^2$ prend, pour l'eau, le chloroforme, le sulfure de carbone, l'éther et l'anhydride sulfureux, respectivement les valeurs

$$0{,}615 — 0{,}636 — 0{,}954 — 1{,}673 — 0{,}475.$$

Il faut donc se défier des conclusions que l'on peut tirer de la formule de M. Van der Waals et n'admettre la loi des états correspondants que dans les cas où elle a été justifiée par l'expérience.

M. Darzens fait remarquer, à la suite de cette communication, que cette formule des chaleurs latentes peut se mettre sous la forme $\frac{M\lambda}{T} = f\left(\frac{T}{T_e}\right)$, M étant le poids moléculaire du corps.

Sous cette forme elle a été indiquée pour la première fois par M. Van der Waals (*la Continuité des états gazeux et liquide*, p. 199); elle se déduit d'ailleurs très facilement du théorème sur l'entropie moléculaire (*C. R.*, t. CXXIII, p. 940), sans faire intervenir l'équation caractéristique de Van der Waals. Cette formule ne se vérifie pas, en général, comme l'a indiqué M. Pellat; mais elle se vérifie lorsqu'on la limite à des groupes de corps.

M. Darzens se propose d'ailleurs de revenir prochainement sur ce sujet avec des chiffres à l'appui.

SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1897.

PRÉSIDENCE DE M. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 5 février est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. GUGGENHEIMER (Siegfried), à Paris.
KORDA (Désiré), ingénieur, chef du service électrique de la Cie Fives-Lille, à Paris.
LANDRIN, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, à Paris.
TANGL, docteur de l'Université de Budapest.

A propos de la communication faite à la dernière séance par M. Jobin sur les méthodes de M. le capitaine Dévé, M. LAURENT fait remarquer qu'il a déjà employé et décrit depuis longtemps la méthode d'autocollimation pour vérifier la rectitude des règles, pièces rabotées, etc.

Remarques sur l'abaissement de l'éclat du charbon positif de l'arc sous pression. — Revenant sur une communication précédente (séance du 17 juillet 1896), M. GUILLAUME rappelle qu'il a cherché à expliquer les expériences de M. Wilson sur l'abaissement de l'éclat du charbon positif de l'arc sous pression, par la dissolution du carbone dans l'atmosphère ambiante, dissolution qui, d'après les expériences de M. Villard, doit être d'autant plus abondante que la pression est plus élevée. MM. Wilson et Fitzgerald viennent de publier une expérience qui semble confirmer entièrement cette idée. Ayant fait jaillir l'arc dans l'acide carbonique sous pression, ils virent, à la détente, un nuage de carbone se former autour de l'arc.

M. LE CHATELIER pense que la fixité de la température du charbon positif de l'arc électrique peut s'expliquer simplement en admettant que cette température est celle de fusion du carbone. On ne peut admettre que cette température soit celle d'ébullition, parce que l'usure des charbons serait extrêmement rapide et, d'autre part, cette hypothèse obligerait d'attribuer au carbone à la température du filament des lampes à incandescence une tension de vapeur incompatible avec leur durée considérable d'existence. Si on admet que la loi de variation des tensions de vapeur du carbone est semblable à celle de tous les autres corps et si l'on prend comme point de départ une tension de vapeur de $\frac{1}{50}$ du millimètre à la température du filament des lampes à incandescence, on trouve pour la température de l'arc une tension de vapeur voisine de 30 millimètres

de mercure. Si cette prévision est exacte, on doit, en faisant jaillir l'arc dans des atmosphères de plus en plus raréfiées, observer un éclat constant du cratère jusqu'au moment où on atteint la pression d'ébullition et au dessous un éclat décroissant avec production simultanée d'un nuage de carbone condensé. La première prévision s'est trouvée vérifiée dans une seule expérience, il est vrai, poussée jusqu'à la pression de 100 millimètres de mercure environ. A ce moment, l'œuf électrique employé s'est cassé, et les recherches ont été abandonnées.

La fusion du carbone expliquerait la fixité de la température de l'arc parce que le carbone, aussitôt fondu, est arraché et projeté par le courant, de telle sorte qu'aucune portion du carbone ne peut rester au-dessus de cette température exposée à l'action échauffante du courant. Le carbone ainsi pulvérisé se brûle en général dans l'arc après y avoir été vaporisé en raison de la température plus élevée qui y règne. Si cependant les deux charbons sont assez rapprochés, il va en partie se condenser sur le second charbon avec une température beaucoup plus élevée que celle de ce charbon et voisine de celle du cratère. On peut constater le ramollissement du charbon à la température de l'arc en pressant entre les deux charbons une petite tige mince du carbone et en la faisant traverser par un courant d'intensité progressivement croissante. Lorsque cette tige a presque atteint la température normale du cratère, on la voit s'affaisser sur elle-même.

Sur la loi de transparence des corps pour les rayons X. — M. L. Benoist s'est proposé de rechercher la loi générale de transparence des corps pour les rayons X. Dès le début, le professeur Röntgen avait reconnu que les rayons étaient absorbés d'autant plus que les corps étaient plus denses, sans toutefois que la proportionnalité apparût. Depuis, on avait signalé des anomalies quant au sens même du phénomène. Il y avait donc lieu de reprendre cette étude par une méthode de mesure suffisamment précise, telle que la méthode électrométrique indiquée dès l'origine par MM. Benoist et Hurmuzescu, et en profitant de la puissance plus grande des tubes focus actuels. M. Benoist a commencé par l'étude des gaz et a trouvé que l'absorption produite par une même épaisseur (74 centimètres), à une même pression et une même température, était très sensiblement proportionnelle à la masse spécifique. En appelant *pouvoir absorbant spécifique* d'une substance l'absorption produite par une épaisseur représentant l'unité de masse par unité de surface (1 décigramme par centimètre carré), on trouve pour tous les gaz étudiés des valeurs très voisines les unes des autres, ayant pour moyenne 0,14. Donc ce pouvoir absorbant est une constante pour les gaz dans des conditions données de pression et de température, et pour une même espèce de rayons. De plus, pour un même gaz, que l'on chauffe fortement sous volume constant, l'absorption observée ne change pas; donc ce pouvoir absorbant spécifique est indépendant de la température.

M. Benoist a déterminé ensuite le pouvoir absorbant spécifique d'un

certain nombre de solides; il a trouvé des nombres très voisins de celui des gaz pour le mica (0,13), pour le phosphore (0,10), pour l'aluminium (0,09), puis une valeur un peu plus forte pour un verre micrographique (0,26) et des valeurs notablement supérieures pour le cuivre (0,60), l'étain (0,74), l'argent (0,75), le platine (0,81), le palladium (0,83); c'est-à-dire que le pouvoir absorbant spécifique s'élève en général avec la densité ou aussi avec le poids atomique, sans que, d'ailleurs, une relation simple apparaisse.

Ces nombres varient d'ailleurs avec la qualité des rayons X auxquels ils correspondent, et M. Benoist croit que l'*identité* de pouvoir absorbant spécifique pour tous les corps constitue une loi limite qui devra se vérifier exactement pour des rayons X limite, dont on peut dès maintenant prévoir l'existence. En effet, à mesure que la fabrication des tubes de Crookes s'est perfectionnée, M. Benoist a vu l'opacité des différents corps diminuer, et cela plus rapidement pour les corps les plus denses que pour les autres. Ainsi celle de l'aluminium ne paraît guère avoir changé (0,09 au lieu de 0,10); mais celle de l'argent est devenue 0,75 au lieu de 0,84; celle du cuivre (0,60 au lieu de 0,75). La transparence du platine était, d'après les nombres donnés au début par Röntgen, deux fois moindre au moins qu'aujourd'hui. On sait également que la transparence des os a augmenté beaucoup plus que celle des chairs. Si donc on construit des courbes représentant pour les différents corps leurs opacités spécifiques en fonction de cette qualité des rayons X qu'on pourrait appeler leur *tonalité* moyenne (puisque leur réfrangibilité n'existe pas), ces courbes tendent visiblement à se rejoindre, et les pouvoirs absorbants spécifiques tendent vers une limite commune, probablement peu différente de 0,10. M. Benoist projette deux clichés montrant un changement très net dans le rapport des transparences du cuivre et de l'argent, selon que le tube employé est à anticathode de platine ou de verre. Il propose l'emploi d'une *échelle de tons* fondée sur ce principe pour caractériser le ton moyen des rayons émis par un tube donné. On pourra ainsi observer l'apparition de rayons X de *ton* de plus en plus élevé, soit par le perfectionnement des tubes, soit par une sélection dans les rayons actuels, jusqu'à des rayons limite pour lesquels se vérifiera la loi générale des densités.

Mesures cryoscopiques de MM. Ponsot *et* Tangl. — M. Ponsot expose les résultats d'expériences qu'il a entreprises en collaboration avec M. Tangl sur l'abaissement du point de congélation de solutions étendues de sucre de canne.

Ces expériences ont été faites avec l'appareil cryoscopique de M. Raoult, auquel les auteurs ont fait subir quelques modifications : bain d'un mélange réfrigérant au-dessus de l'appareil, protection thermique plus grande de l'éprouvette cryoscopique, emploi d'une éprouvette en verre le plus mince possible, agitateur solidaire du thermomètre et formé de lames et de fils de platine répandus dans toute la solution; rotation alternative de l'agitateur.

La lecture de la température a été faite à une approximation de $\frac{1}{20000}$ de degré; et les auteurs estiment que cette lecture porte une erreur inférieure à 0°,0002, d'après la comparaison de leurs lectures personnelles.

La sensibilité du thermomètre leur a permis de mettre en évidence les erreurs qu'on fait selon la manipulation adoptée, pour déterminer soit le zéro, soit le point de congélation d'une solution.

Une observation est faite dans de bonnes conditions expérimentales quand, après la cessation de la surfusion, la température monte, atteint un maximum qui reste invariable à 0°,0001 pendant un quart d'heure.

M. Ponsot décrit ces conditions qui sont à peu près celles qu'il a données dans ses recherches sur la congélation des solutions.

Les résultats de quatre séries d'expériences sont comparés au résultat moyen de chacune; excepté pour les grands abaissements, les erreurs moyennes ne dépassent pas les erreurs de lecture; les erreurs accidentelles sont donc, en général, négligeables.

Ces résultats, comparés aux résultats anciens de M. Ponsot obtenus dans des conditions différentes, montrent une concordance assez satisfaisante.

Ces résultats se rapprochent de ceux d'Abegg, de Loomis. Ceux de M. Raoult en sont très éloignés. Ses abaissements sont 1,09, 1,08 et 1,07 fois plus grands pour une même concentration.

M. Ponsot pense que la correction de rayonnement proposée par M. Raoult, 1/1,002, est insuffisante; qu'il existe, d'ailleurs, une autre erreur due à l'emploi d'une éprouvette trop épaisse qui, après la cessation de la surfusion, agit sur la solution congelée comme un réfrigérant, dont l'effet varie avec l'agitation.

M. Ponsot indique une série d'expériences dans laquelle il a employé de l'eau aérée : les résultats se rapprochent beaucoup de ceux de Loomis.

Enfin, en ce qui concerne la constante cryoscopique de l'eau $\frac{RT_0^2}{El_0}\frac{1}{100}$, les solutions sucrées ne peuvent la donner que s'il est bien prouvé que dans la relation générale de la pression osmotique $\pi V = iRT$, i est bien rigoureusement égal à 1 pour ces solutions.

M. Radiguet montre que les rayons X tombant sur du verre ou des émaux cuits les rendent lumineux. Il a utilisé cette propriété pour construire des écrans dépourvus de grain et susceptibles de renforcer les épreuves radiographiques, ou permettant la micro-cryptoscopie. D'autres verres, très opaques aux rayons et dépourvus de la propriété de s'illuminer sous l'action des rayons X lui ont servi à faire des lunettes pour protéger les yeux des opérateurs et les soustraire aux inconvénients connus des rayons X.

M. Guillaume fait remarquer que cette découverte de M. Radiguet apporte une confirmation à l'idée suivant laquelle les lueurs observées à l'intérieur

des tubes sont dues aux rayons X et non aux rayons cathodiques frappant les parois. Dans les premiers tubes, les rayons partant de la tache lumineuse, on pouvait penser que cette tache était un phénomène primaire duquel dépendaient les rayons X et non point un produit secondaire de ces rayons. Les tubes à anticathode de métal qui présentent des lueurs vives seulement en avant du plan de l'anticathode ont montré que ces lueurs sont bien dues aux rayons X. La possibilité d'illuminer le verre en dehors du tube rend ce fait évident. Il n'est pas douteux que les phénomènes lumineux observés autrefois par M. Crookes étaient dus aux rayons X qui se formaient à la surface des cristaux exposés à l'action de la cathode. L'utilisation immédiate des rayons X au lieu même de leur production explique suffisamment la grande intensité des lumières observées.

SÉANCE DU 5 MARS 1897.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 février est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BIGET (Albert), Percepteur à Charmes (Vosges).
COLOMAN SZILY DE NAGYSZIGET, à Paris.
GARLET, Censeur du lycée de Charleville.
GORSSE, Professeur au collège Rollin, à Paris.
LECHER (Dr Ernest), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).
PERRIN (Jean), Agrégé, Préparateur à l'Ecole Normale Supérieure, à Paris.
RILLIET, Professeur à l'Université de Genève (Suisse).

A propos de la lettre de M. Demichel, lue par M. Dongier à la séance du 15 janvier, où l'invention de la biplaque formée de deux lames *demi-onde* est attribuée à Prazmowski, M. LAURENT fait remarquer que la biplaque de Prazmowski était en spath et avait plusieurs millimètres d'épaisseur ; elle était loin, par conséquent, d'être composée de lames demi-onde. Quand M. Laurent a présenté, en 1874, son saccharimètre à pénombre, la plaque demi-onde, qui est l'organe original, n'avait pas encore été employée.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi des deux notes suivantes adressées par M. *D. Tommasi :* 1° *Sur un nouvel accumulateur électrique;* 2° *L'effluviographie ou obtention de l'image par l'effluve.*

Les chaleurs de vaporisation et la loi de Van der Waals, par M. G. DARZENS.

— On trouve dans Van der Waals la formule suivante : $\frac{M\lambda}{T_c} = f\left(\frac{T}{T_c}\right)$, dans laquelle M est le poids moléculaire, λ la chaleur latente à la température absolue T, T_c la température critique, et f une fonction qui est la même pour tous les corps. On pourrait croire, d'après la démonstration de Van der Waals, que cette loi est intimement liée à la forme particulière de l'équation caractéristique de cet auteur.

Il n'en est rien, et, en réalité, ce n'est qu'une simple conséquence de la loi, beaucoup plus générale, des états correspondants.

Si l'on admet le théorème sur l'entropie moléculaire, on peut écrire de suite l'équation $\frac{M\lambda}{T} = F\left(\frac{T}{T_c}\right)$. qui exprime, en réalité, la même loi, mais dont le premier membre a l'avantage d'être indépendant de la température critique, quantité sur laquelle il existe toujours une certaine incertitude.

Pour vérifier cette loi, nous avons porté en abscisse la quantité $\frac{T}{T_c}$. et en ordonnée $\frac{M\lambda}{T}$; à l'aide de cette représentation graphique, chaque détermination de chaleur latente d'un corps se trouve représentée par un point. Si la loi est vraie, tous ces points, appartenant à un même corps, ou à des corps différents, se placeront approximativement suivant une courbe continue. En opérant ainsi, on trouve : 1° que les courbes représentatives de la benzine, du chloroforme, du tétrachlorure de carbone (d'après Regnault), de l'acide sulfureux, du protoxyde d'azote et de l'acide carbonique (d'après Cailletet et Mathias), se placent très sensiblement suivant une même courbe continue ; la coïncidence est surtout très remarquable pour Az^2O et CO^2. Les déterminations de M. Amagat pour l'acide carbonique m'ont permis de calculer également des valeurs de λ, qui concordent suffisamment avec celles de MM. Cailletet et Mathias ; or, la courbe de Az^2O se trouve d'abord située entre les deux courbes représentatives de CO^2 ; puis, ces trois courbes finissent par se confondre en un point qui correspond à la température moyenne de 15°.

Les points représentatifs (correspondant à la température normale d'ébullition) des corps suivants : toluène, C^2H^5Cl, C^2H^5Br, $PhCl^3$, AzH^3, $SnCl^4$, se placent également très près de cette même courbe continue.

2° Les courbes représentatives de l'eau, de l'acétone et de l'éther (d'après Regnault) coïncident également d'une façon satisfaisante. Il existe toutefois pour l'éther une incertitude, car les déterminations de Ramsay et Young, très différentes de celles de Regnault, se rapprochent du groupe précédent. Ce groupe renferme également un grand nombre d'éthers d'acides gras.

3° Les courbes représentatives de CS^2, d'une part, et des alcools, d'autre part, s'éloignent beaucoup des deux groupes avec une différence dans les ordonnées qui est de 25 à 30 0/0, même aux environs du point critique.

En résumé, il faut conclure de ce travail que la loi des états correspondants appliquée aux chaleurs latentes se vérifie d'une façon très satis-

faisante si l'on a soin de faire des groupes qui réunissent très probablement les corps dont les molécules sont du même type mécanique.

En terminant, nous ferons remarquer que la loi de Trouton $\left(\frac{M\lambda}{T} = C^{te}\right)$ pour la température normale d'ébullition doit être considérée comme un cas particulier de cette loi plus générale.

M. Amagat montre que les diverses relations existant entre les coefficients tels que la chaleur latente, les coefficients de dilatation, de compressibilité, etc., etc., qui sont des fonctions homogènes de p, v, t peuvent se déduire de suite d'une règle très simple qui peut s'établir ainsi qu'il suit :

Soient : $C = f(pvt)$, $C' = f(p'v't')$ les valeurs pour deux points correspondants de l'un de ces coefficients, et soient p^m, v^n, t^s ses dimensions. On pourra écrire :

$$f\left(\frac{p}{p_1}\ \frac{v}{v_1}\ \frac{t}{t_1}\right) = \frac{f(pvt)}{p_1^m v_1^n t_1^s}$$

et de même

$$f\left(\frac{p'}{p'_1}\ \frac{v'}{v'_1}\ \frac{t'}{t'_1}\right) = \frac{f(p'v't')}{p'^m_1 v'^n_1 t'^s_1}$$

les lettres affectées de l'indice 1 se rapportant aux points critiques, ou en général à deux points correspondants quelconques ; si donc les deux corps suivent la loi de Van der Waals, c'est-à-dire que les réseaux coïncident, les premiers membres de ces égalités sont égaux, et on a :

$$\frac{C}{C'} = \frac{p_1^m v_1^n t_1^s}{p'^m_1 v'^n_1 t'^s_1} = \frac{p^m v^n t^s}{p'^m v'^n t'^s}.$$

De même, si C_1 et C_1' sont les valeurs de C et C' pour deux points correspondants quelconques, on aura :

$$C_1 = f(p_1 v_1 t_1) = f(pvt)\,\frac{p_1^m v_1^n t_1^s}{p^m v^n t^s}$$

$$C'_1 = f(p'_1 v'_1 t'_1) = f(p'v't')\,\frac{p'^m_1 v'^n_1 t'^s_1}{p'^m v'^n t'^s}$$

d'où :

$$\frac{C_1}{C'_1} = \frac{C}{C'}$$

et par suite :

$$\frac{C}{C'} = \frac{C_1}{C'_1} = \frac{p_1^m v_1^n t_1^s}{p'^m_1 v'^n_1 t'^s_1} = \frac{p^m v^n t^s}{p'^m v'^n t'^s},$$

relations qui, jointes à $\frac{pv}{T} = \frac{p'v'}{T'}$, permettent d'écrire de suite toutes les relations cherchées.

Exemple : La chaleur latente moléculaire de vaporisation

$$\lambda M = AT \frac{dp}{dt} (u' - u)$$

dont les dimensions sont pv (u et u' se rapportant au poids moléculaire, ainsi que cela a lieu dans la dernière relation ci-dessus), on aura les relations :

$$\frac{\lambda M}{\lambda' M'} = \frac{\lambda_1 M}{\lambda'_1 M'} = \frac{p_1 v_1}{p'_1 v'_1} = \frac{pv}{p'v'} = \frac{T_1}{T'_1} = \frac{T}{T'}.$$

qui contiennent la relation de Van der Waals et la forme à laquelle M. Darzens vient d'être conduit; on trouverait de même de suite, par exemple pour le coefficient de dilatation sous pression constante α et sous volume constant β dont les dimensions sont T^{-1} :

$$\frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{\alpha_1}{\alpha'_1} = \frac{T'}{T} = \frac{T'_1}{T_1} = \frac{p'v'}{pv} = \frac{p_1 v'_1}{p_1 v_1} = \frac{\beta}{\beta'} = \frac{\beta_1}{\beta'_1}; \text{ etc., etc.}$$

On ne peut évidemment pas appliquer ces considérations aux quantités de chaleur qui ne sont point définies pour chaque point des réseaux; mais les variations de l'entropie étant définies, puisque $\frac{dq}{T}$ est une différentielle exacte, on conçoit que les variations de l'entropie *moléculaire* puissent suivre la loi de Van der Waals; c'est en effet ce qu'a récemment montré M. Darzens, sous la condition qu'il existe des relations déterminées entre les chaleurs spécifiques, c'est-à-dire à la condition de faire des groupes.

Récipient de sûreté destiné aux gaz liquéfiés en général et à l'éclairage par l'acétylène liquide, par M. J. Fournier. — Les organes distinctifs de ce récipient entièrement en acier sont le robinet pointeau de forme nouvelle et le dispositif de sûreté.

Ce dispositif consiste en un tube manométrique dont une des extrémités communique avec l'intérieur du réservoir, tandis que l'autre extrémité, fermée et libre, actionne une soupape entièrement métallique, fixée sur la paroi de ce réservoir. Une vis de réglage permet de produire automatiquement l'ouverture de cette soupape, à la pression que l'on désire ne pas dépasser.

Le rôle de cette soupape est : 1° d'éviter l'explosion du réservoir qui peut se produire avec tous les gaz liquéfiés sans exception, sous l'influence de la pression énorme qui peut résulter de la grande dilatabilité de ces liquides; 2° d'expulser complètement et rapidement l'air de l'appareil au moment du remplissage et, par suite, d'éviter le mélange tonnant qui est une cause grave d'explosion quand le gaz liquéfié est de l'acétylène ; 3° de provoquer un refroidissement général sur toutes les parties de l'appareil et, par suite, d'atténuer considérablement l'échauffement produit au mo-

ment du remplissage, soit par la compression adiabatique du gaz dans le récipient, soit par le frottement de ce gaz contre les organes du robinet, échauffement dangereux dans le cas de l'acétylène.

On peut appliquer cet appareil à l'éclairage par l'acétylène, soit comme lampe portative, soit comme récipient alimentant un grand nombre de becs.

Dans le premier cas, il suffit de le munir d'un brûleur dont le débit ne soit pas supérieur à 30 litres à l'heure ; il constitue alors une lampe portative à longue durée, d'une très grande régularité.

Dans le second cas, c'est-à-dire quand le débit doit être supérieur à 30 litres à l'heure, on lui adjoint un petit régulateur qui permet non seulement d'alimenter un grand nombre de becs à la fois, mais d'éteindre un nombre quelconque de ces becs, sans que, pour cela, l'intensité lumineuse des autres varie.

Phonographe à haute voix de M. Lioret, présenté par M. L. Cailletet. — L'idée d'enregistrer les sons et de les reproduire, une fois inscrits, est essentiellement française.

Dès 1857, un typographe, Léon Scott, présentait à la Société d'Encouragement son *Phonautographe*, à l'aide duquel il inscrivait sur un cylindre enfumé les vibrations sonores ; mais Scott n'avait pas pensé à se servir des tracés obtenus pour reproduire les sons enregistrés.

Charles Cros, l'inventeur de la photographie en couleur à l'aide des tirages jaune, rouge et bleu, avait déposé à l'Académie des Sciences un pli cacheté qui fut ouvert le 3 décembre 1877 : « Mon procédé, disait Ch. Cros, consiste à obtenir le tracé de va-et-vient d'une membrane vibrante et de se servir de ce tracé pour reproduire le même va-et-vient avec ses relations intrinsèques de durées ou d'intensités sur la membrane appropriée à rendre les sons et les bruits qui résultent de cette série de mouvements. » C'était bien là l'invention du phonographe : ce n'est qu'en 1878 qu'Edison prit son premier brevet.

La membrane qu'employait Edison pour recevoir les impressions sonores était une mince feuille d'étain. Plus tard, il appliqua à son phonographe les cylindres de cire, inventés par Summer Tainter.

Depuis cette époque, le phonographe a reçu des modifications nombreuses, mais les plus grands progrès apportés sont dus à M. Lioret.

L'appareil présenté à la Société de Physique n'est pas réversible, comme celui d'Edison. Les cylindres sont gravés dans un atelier spécial. Ces cylindres sont en celluloïd ; au moyen d'un procédé des plus ingénieux, la matière est superficiellement amollie, de façon à pouvoir être attaquée par une pointe de saphir mise en mouvement par les oscillations d'une plaque vibrante qui, en se déplaçant parallèlement à l'axe du cylindre fixé sur un tour, trace sur le celluloïd une hélice, dont le pas peut être modifié à volonté. Il y a généralement de 5 à 8 spires par millimètre.

Lorsque la matière gravée a repris sa dureté première, on peut se servir du cylindre pour reproduire les sons enregistrés.

Le phonographe proprement dit se compose d'un mouvement d'horlogerie mû par la chute d'un poids. Le cylindre gravé est fixé à un axe qui lui fait décrire environ 120 révolutions par minute. La partie de l'appareil qui recueille et transmet les vibrations se compose d'un cône en métal mince relié par un tube coudé à une boîte métallique fermée par une lame de mica; une tige de cuivre faisant corps avec la boîte de résonnance s'appuie contre la lame de mica pendant que son extrémité libre, à laquelle on a serti une pointe de saphir, s'engage dans l'hélice et transmet à la lame vibrante les vibrations sonores. La pression exercée par le saphir sur le cylindre est d'environ 25 grammes. Les sons émis par l'appareil de M. Lioret sont d'une intensité qui permet de les entendre facilement dans un grand amphithéâtre. L'articulation est parfaitement nette, et le timbre des voix et des instruments a conservé toute sa perfection.

SÉANCE DU 19 MARS 1897.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 mars est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. l'abbé LE DANTEC (L.-M.), à l'Evêché de Moulins.
A. TERRIER, Professeur au Lycée de Laval.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL fait connaître à la Société quelques décisions qui ont été prises par le Conseil de la Société dans sa réunion du 17 mars dernier :

1° Une demande sera adressée aux membres de la Société pour avoir leur avis sur la modification proposée par la Commission officielle de la division décimale du temps et de la circonférence.

2° Une Commission, composée de MM. *Cadot*, *Gariel* et *Sebert*, est chargée d'examiner une proposition soumise au Conseil par M. *Cadot* pour qu'il soit établi, sous le patronage de la Société, un système de fiches concernant les notes et mémoires relatifs à la physique. Ces fiches porteraient le titre du mémoire, la publication où il a paru, le format, ainsi qu'une très courte analyse se bornant à indiquer les principales questions traitées. Elles porteraient aussi en tête le numéro de la classification décimale, ce qui permettrait de les classer et de les retrouver aisément.

M. le général Sebert propose et fait adopter par le Conseil le format des fiches de l'Institut international de la classification décimale qui a déjà

entrepris un travail analogue pour diverses Sciences, mais non pour la Physique.

M. Gariel propose et fait adopter que l'éditeur chargé de la publication de ces fiches recevra de la Société une subvention dont la quotité reste à déterminer, à condition que les Membres de la Société de Physique aient une réduction, qui reste aussi à fixer, sur le prix de l'abonnement.

M. le Secrétaire Général annonce l'envoi de deux notes de M. F. Beaulard intitulées :

1° *Observations sur quelques phénomènes qui ont lieu dans les tubes de Crookes.* — 2° *De la production de cathode supplémentaire par la mise au sol d'un point de la paroi d'un tube focus.*

Décharges par les rayons Röntgen. — Effet métal. — M. Jean Perrin rappelle que les lois qu'il a données dans le cas où les rayons X déchargent les corps sans les toucher ne suffisent plus quand les rayons touchent ces corps. Alors, ainsi que MM. Benoist et Hurmuzescu ont réussi à le montrer, la nature des corps frappés intervient. Il y a là un effet nouveau, l'*effet métal*, différent de l'*effet gaz* déjà étudié par M. Perrin.

Les deux effets ont été comparés par une méthode de compensation. L'effet métal est beaucoup moins grand que ne l'avait supposé M. Benoist. Par exemple, soit un condensateur plan ayant 1 centimètre d'épaisseur, dont une armature est en zinc, et l'autre en aluminium ; quand les rayons y pénètrent par cette dernière armature, l'effet métal est égal à 0,4 de l'effet total, c'est-à-dire à 0,7 de l'effet gaz.

Quand l'épaisseur du condensateur grandit, le rôle de l'effet métal décroît ; le débit pour un condensateur e est de la forme $a + be$.

Les variations de température à pressions constantes ne semblent pas altérer l'effet métal.

Les variations du champ agissent comme sur l'effet gaz : l'effet grandit rapidement, et atteint une limite indépendante du champ.

A une même distance de la source, l'effet métal par unité de surface est indépendant de l'inclinaison sur le rayon.

A des distances différentes de la source, il est proportionnel à l'inverse du carré de la distance.

L'influence de la pression ne semble pas vérifier de loi simple ; les expériences antérieures de MM. Benoist et Hurmuzescu, dans lesquelles intervenaient à la fois l'effet métal et l'effet gaz, ne donnent pas directement cette loi.

De même, l'effet métal dans deux gaz différents ne paraît pas lié à la racine carrée de la densité.

En résumé, l'effet gaz s'explique facilement par une *ionisation cubique*. Les gaz sont caractérisés par des coefficients d'ionisation cubique dont les rapports, facilement mesurables, seront peut-être utiles à l'électrochimie des gaz. M. Perrin donne quelques-uns de ces coefficients.

De même, l'effet métal s'explique par une *ionisation superficielle* du gaz au contact d'un conducteur. Pour chaque couple gaz-métal, on pourra mesurer un coefficient d'ionisation superficielle, comparable, à certains égards, à une force électromotrice de contact.

La connaissance de ces deux systèmes de coefficients permet de donner, sous une forme mathématique simple, la loi générale de décharge par les rayons X.

M. L. Benoist rappelle l'énoncé de la loi obtenue par lui et par M. Hurmuzescu, antérieurement aux recherches de M. J. Perrin sur l'effet gaz.

Dans les conditions où ils ont opéré, englobant l'effet gaz et l'effet métal, *la vitesse de dissipation est proportionnelle à la racine carrée de la densité du gaz*. C'est là un fait expérimental, indépendant de toutes explications et hypothèses, et vérifié pour l'air et d'autres gaz à un degré de précision atteignant $\frac{1}{150}$ (*C. R. Ac. Sc.*, 27 avril 1896).

M. J. Perrin, qui a obtenu depuis pour l'effet gaz *isolé* une loi différente (ces deux lois peuvent s'identifier dans l'hypothèe d'une convection électrique ; *C. R.*, 28 décembre 1896), trouve qu'en déduisant l'effet gaz de l'effet total la proportionnalité à la racine carrée de la densité ne subsiste pas. Mais son calcul, fondé sur une connaissance inexacte des dimensions employées par MM. Benoist et Hurmuzescu, double à tort l'effet gaz. En supposant que ce calcul fût exact, il prouverait seulement que cette proportionnalité ne s'applique qu'à un effet d'ensemble. M. Perrin est d'ailleurs obligé par ses propres expériences de reconnaître cette proportionnalité, puisque, avec une disposition expérimentale différente de celle de MM. Benoist et Hurmuzescu, il a, dit-il, obtenu une courbe qui coïncide exactement avec la leur.

M. Benoist poursuit, en outre, actuellement l'étude de la loi ci-dessus rappelée, pour voir jusqu'à quelles limites de pression et de volume elle continue à se vérifier. Les premières expériences avaient été faites entre $1^{cm},7$ de pression et 1 atmosphère, avec une épaisseur de $0^{cm},5$. Il a pris une épaisseur *trois* fois plus grande, et porté la pression à *trois* atmosphères.

La loi continue à se vérifier dans ces conditions nouvelles avec une précision aussi grande. Il cite quelques nombres pris dans une série de seize mesures effectuées la veille, sur l'air :

Pression cm	Temps de chute d'un même potentiel v_0 à un même potentiel v_1	Produit $t\sqrt{P}$
215,3	$23^s,9$	350,7
195,3	26	363,3
136,8	31	362,6
95,9	38,3	375,1
51,4	51	365,6
29,5	66,8	362,8
	Moyenne générale des 16 mesures...	365,1

L'écart moyen est $\frac{1}{29}$ et descend même pour une moitié des mesures, répartie sur tout l'ensemble, à $\frac{1}{76}$.

Il ne faut pas perdre de vue que, dans l'ensemble des expérience de MM. Benoist et Hurmuzescu, l'effet gaz proportionnel à la pression a varié dans le rapport de 1 à 127, et, néanmoins, la loi de la proportionnalité à la *racine carrée de la pression* se vérifie absolument, quelle que soit la pression, depuis $1^{cm},7$ jusqu'à près de *trois* atmosphères, et l'épaisseur variant de $0^{cm},5$ à $1^{cm},5$.

M. Désiré Korda annonce qu'il a pu constater, par des expériences souvent répétées en compagnie du Dr Oudin, une dissymétrie très marquée produite par les rayons Röntgen dans le champ électrostatique des tubes à vide. Il s'est servi, comme électromètre, d'une aiguille aimantée. Les déviations par rapport au méridien magnétique ont permis de faire des comparaisons. Pour voir d'abord l'effet des circuits et de la bobine de Ruhmkorff seule (cette dernière, qui pouvait donner des étincelles de 15 centimètres, fut éloignée à 3 mètres), on a intercalé, en parallèle avec le tube, une distance explosive réglable. Le tube ne fonctionnant pas, les déviations étaient égales et de signe contraire, suivant le sens du courant. Par contre, dès que le tube fonctionnait et envoyait des rayons Röntgen dans le méridien magnétique sur l'aiguille, la déviation de cette dernière fut plus grande que sans le tube. De même, la déviation dans le sens opposé fut plus petite que sans le tube, quand on changeait le sens du courant, c'est-à-dire qu'on faisait de la cathode une anode.

Par exemple, dans un cas où la cathode se trouvait à environ 1 mètre du centre de l'aiguille, la déviation était de 18° et — 18°, suivant le sens du courant. On ramenait à zéro, et on a envoyé les rayons Röntgen sur l'aiguille. La déviation qui s'en est suivie était de 26° et, quand on a changé le sens du courant, l'aiguille a dévié dans l'autre sens de — 14°. Il ne pouvait pas y avoir d'effets résiduels, car la valeur des déviations ne dépendait pas de l'ordre dans lequel on a répété l'expérience.

M. Cornu présente, au nom de M. le Professeur Bose, de Calcutta, un dispositif destiné à reproduire diverses expériences avec les ondes électrostatiques de Hertz.

L'appareil se compose essentiellement d'un producteur d'ondes et d'un récepteur.

Le producteur d'ondes est un vibrateur de Hertz placé au foyer d'une lentille cylindrique en ébonite, destinée à rendre les ondes planes. Le vibrateur et la bobine sont remarquables par leurs petites dimensions, ce qui rend l'ensemble très maniable. Le trembleur continu est remplacé par un simple interrupteur instantané, afin d'éviter une série d'étincelles très nombreuses qui détériorent rapidement les parties entre lesquelles elles jaillissent.

Le récepteur est basé sur un principe signalé pour la première fois par M. Branly. Quand on intercale dans le circuit d'une pile un conducteur composé de poudres métalliques légèrement tassées, on constate que la masse ainsi obtenue offre une résistance assez grande au courant, mais que cette résistance diminue, si l'on y fait passer une décharge électrique. Il suffit de donner de légers chocs au vase contenant la poudre pour voir reparaître la résistance primitive. M. Bose, au lieu d'employer des poudres métalliques dont l'action est trop irrégulière, se sert de petites hélices obtenues en roulant un fil conducteur mince sur une aiguille à tricoter. Des petits fragments de cette hélice sont rangés parallèlement dans une petite boîte en ébonite et légèrement comprimés par une vis de réglage, jusqu'à ce qu'un galvanomètre sensible indique qu'un faible courant traverse l'appareil. S'il vient à être frappé par une onde électrostatique, la déviation du galvanomètre augmente brusquement. La sensibilité de ce récepteur dépend ainsi de la force électromotrice de la pile : c'est avec 0,5 volt environ que l'on se trouve dans les meilleures conditions. M. Bose utilise soit un accumulateur du petit modèle, soit une pile du type Daniell shuntée convenablement.

Diverses expériences sont reproduites par M. Bose :

1° Réflexion des ondes sur un miroir métallique ;

2° Réflexion totale sur un prisme en ébonite ;

3° Méthode de mesure de l'indice de réfraction d'une substance par réflexion totale et par approximation successive ;

4° Polarisation : deux petites grilles jouent le rôle de polariseur et d'analyseur ;

5° Le polariseur et l'analyseur étant à angle droit, la lumière est rétablie par l'interposition d'un cristal biréfringent : spath d'Islande, tourmaline, etc. ;

6° Les substances fibreuses se comportent d'une façon analogue. Ainsi un livre pourrait servir de polarisateur ou d'analyseur pour les ondes électriques, car les vibrations parallèles aux pages sont complètement absorbées, et celles perpendiculaires aux pages sont transmises avec une complète polarisation.

Ce résultat curieux est un cas particulier d'un phénomène général découvert par M. Bose, à savoir que la direction d'absorption est la direction du maximum de conductibilité : la vérification est très nette sur certaines espèces minérales.

SÉANCE DU 2 AVRIL 1897.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 19 mars est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. CHARPY, docteur ès sciences, à Paris.
CLÉMENT (Louis), à Paris.
PHASSMANN, maire de Saint-Mihiel (Meuse).

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. le Dr *Foveau de Courmelles* sur l'autoradioscopie.

M. H. ABRAHAM présente le *rhéographe à induction* ABRAHAM-CARPENTIER.
La construction de l'appareil est fondée sur les principes suivants :
L'équation du mouvement du cadre mobile d'un galvanomètre étant :

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gi;$$

la déviation θ sera à chaque instant proportionnelle au courant I que l'on veut enregistrer, si les courants I et i sont liés par une équation de même forme :

$$K\frac{d^2I}{dt^2} + A\frac{dI}{dt} + CI = \lambda i.$$

On arrive à ce résultat en faisant intervenir les phénomènes d'induction. Le courant primitif I agit par induction sur un circuit auxiliaire et y induit un courant proportionnel à $\frac{dI}{dt}$. Celui-ci agit ensuite de la même manière sur le circuit du galvanomètre et fournit le terme en $\frac{d^2I}{dt^2}$ de l'expression de i. Quant aux termes en $\frac{dI}{dt}$ et en I, ils sont donnés respectivement par une induction mutuelle et une connexion directe qui existent entre les circuits et sont séparément réglables.

L'enregistrement photographique est obtenu en combinant optiquement le mouvement du galvanomètre et celui d'un miroir tournant.

Les deux réglages sont effectués expérimentalement en s'aidant des courbes qui représentent l'établissement et la rupture d'un courant permanent.

Après avoir indiqué les conditions de sensibilité et d'exactitude de l'ap-

pareil, l'auteur projette quelques clichés se rapportant au réglage du rhéographe et à différentes applications de la méthode oscillographique.

M. Gréhant présente à la Société un appareil qu'il a fait construire par M. Noé et qu'il désigne sous le nom de *myodynamomètre* à sonnerie : il se compose d'un levier solide monté sur pointes qui rappelle le myographe de l'illustre Helmholtz et d'un chevalet métallique fixé sur un plateau muni d'une vis et d'une crémaillère, dispositif qui a été employé par M. le Professeur Rosenthal d'Erlangen. A l'aide de cet appareil, M. Gréhant démontre qu'un muscle gastrocnémien de grenouille qui pèse 5 décigrammes peut soulever un poids égal à 1 kilogramme.

M. Gréhant décrit ensuite un grisoumètre à eau qu'il a perfectionné. Cet appareil fonctionnera à la séance de Pâques.

M. P. Villard expose sommairement quelques résultats relatifs aux rayons cathodiques :

Si l'on reçoit ces rayons sur une lame métallique assez mince pour qu'ils puissent la traverser, l'orientation générale du faisceau émergent présente cette singularité d'être normale à la lame ; ce faisceau transmis est, comme on le sait, diffus ; cette diffusion peut être atténuée par l'emploi d'une cathode concave donnant un pinceau cathodique très intense.

Disposant deux lames de magnésium ($D = 1,75$) d'épaisseurs différentes ($0^{mm},02$ et $0^{mm},1$) sur une fente pratiquée dans une lame de platine, et plaçant à la suite une lame de verre, on constate que celle-ci n'est fluorescente qu'en face de la partie de la fente recouverte par la lame la plus mince. Il ne peut être question d'une émission de rayons par la lame métallique qui peut d'ailleurs servir d'anode ; il s'agit bien d'une sorte de réfraction, plus ou moins diffuse, des rayons cathodiques.

La réflexion est plus facile à obtenir et donne un faisceau aussi défini que le faisceau incident. Il convient d'opérer à des pressions relativement élevées, et la lame réfléchissante métallique ne doit pas être anode ; elle peut cependant être reliée à celle-ci. Dans ces conditions, on voit aisément le trajet suivi par les rayons, et le phénomène peut être photographié. On peut ainsi aller jusqu'à l'apparition des rayons X. Le faisceau réfléchi est bien constitué par des rayons cathodiques, car il est dévié par l'aimant, échauffe fortement la paroi du tube où il la rencontre, et excite, bien que faiblement, la fluorescence du verre.

L'action répulsive de la cathode a pour effet d'incurver fortement les rayons réfléchis.

Si le faisceau incident traverse une lame métallique reliée à la lame réfléchissante, et percée de deux trous, on observe deux rayons réfléchis ; ceux-ci, protégés à leur origine contre l'action de la cathode, sont d'abord normaux à la lame de laquelle ils partent, puis s'incurvent ensuite.

On est bien en présence d'une réflexion, anomale évidemment, mais parfaitement définie.

SÉANCE ANNUELLE.

RÉUNIONS DES VENDREDI 23 ET SAMEDI 24 AVRIL 1897

à 8 heures très précises du soir.

Éclairage de la porte d'entrée et du vestibule, par la..	**Compagnie d'éclairage Denayrouse.**
Éclairage de la salle du conseil, par la.....	**Société anonyme Cance.**
Éclairage du grand escalier et des salles d'exposition du 1er étage, par la.....	**Société anonyme Cance.**
Rhéographe à induction **Abraham-Carpentier**.....	**M. Abraham.**
Enregistreurs à plume molette avec nouveau mouvement d'horlogerie entraînant sans aucun jeu le cylindre enregistreur, et nouveau dispositif pour la mise en place et la tension instantanées du papier à diagramme. — Nouveaux mouvements d'horlogerie à régulateur électromagnétique et cause correctrice permettant de communiquer au cylindre enregistreur un mouvement de rotation rigoureusement uniforme pour un tour complet. — Vitesses de rotation comprises entre 1 tour par minute et 1 tour par 24 heures. — Deux modèles d'ohmmètre portatif à lecture directe pour la mesure rapide par courant continu ou alternatif des résistances d'isolement et résistance moyennes comprises pour l'un entre 20 mégohms et 0,1 ohm, pour l'autre entre 200 mégohms et 1 ohm. — Galvanomètres portatifs à cadre mobile et miroir pour laboratoire avec réducteur universel de sensibilité n'exigeant qu'un seul tarage. — Caisses portatives de contrôle avec voltmètres et ampèremètres apériodiques pour la mesure des courants jusqu'à 1000 ampères et des forces électromotrices jusqu'à 600 volts.....	**MM. R. Arnoux** et **Chauvin.**
Lampes à arcs pour courants alternatifs.....	**M. Bardon.**

Lampe portative à acétylène..... **MM. Bazin** et **L. Leroy.**

Interrupteur à mercure à grand rendement pour bobines d'induction..... **M. Bazin.**

Électroscope à trois feuilles d'or..... **M. Benoist.**

Trompe à mercure modifiée. — Pompe à mercure modifiée. — Petit eudiomètre de cours. — Pipette pour l'analyse des gaz..... **M. G. Berlemont.**

Oscillographe double à vision directe pour l'étude des courants alternatifs (exécuté par **M. Pellin** avec le concours de **M. Jigouzo**). — Expériences avec cet instrument sur le courant du Secteur de la Rive gauche..... **M. André Blondel.**

Une collection de plaques pour accumulateurs de différents types (traction et station centrale). — Un élément de 1000 ampères-heure. — Un élément type traction ordinaire. — Un élément type traction à charge rapide, accompagné du rapport de **M. Picou** sur les expériences qu'il a faites sur ce type d'élément. — Photographies..... **M. G.-R. Blot.**

Matériel radiographique. — Bobine Ruhmkorff. — Nouveau modèle de machine statique à cylindres pour l'électrothérapie et pour la radiographie..... **M. L. Bonetti.**

Galvanomètre absolument astatique et à grande sensibilité..... **M. A. Broca.**

Projections de clichés photographiques..... **M. Bucquet.**

Transformateur à courants alternatifs. — Transformateur à courants continus. — Petit moteur électrique pour les rayons X. — Transformateur système américain. — Type du nouveau modèle de dynamos, moteurs et transformateurs *Bébé*. — Modèle de ventilateur-aspirateur avec enroulement sur la périphérie du ventilateur. — Quelques appareils de chauffage de la **Société du Familistère de Guise**..... **MM. Cadiot** et **Cie.**

Appareil destiné à recueillir l'air à grandes hauteurs, construit pour les ascensions internationales et employé dans les deux derniers voyages de *l'Aérophile*..... **M. Cailletet.**

Lampe à arc pour lanterne à projections..... **Société anonyme Cance.**

Rhéographe **Abraham Carpentier.** — Mégohm subdivisé, industriel, à grande surface de refroidissement pour la mesure des hautes différences de potentiel. — Résistance étalon de 1000 d'ohm pour 1000 ampères. Perméamètre à arrachement. — Amplificateur universel pour obtenir des agrandissements photographiques à toute échelle, avec mise au point automatique..... **M. Carpentier.**

Goniomètre de précision donnant les secondes, dans lequel les lunettes sont remplacées par des télescopes, dont les miroirs ont été travaillés par **M. Jobin,** construit par **M. Gautier,** sur les indications de.... **M. Carvallo.**

Tube **Colardeau.** — Tube **Colardeau-Chabaud.** — Tube focus nouveau modèle pour production de rayons X. — Lampe à cadmium de **M. Maurice Hamy** avec son appareil de chauffage, pour obtenir les franges de M. Michelson à grande différence de marche. — Tubes de Crookes, pour l'explication de l'image de la croix de Crookes. — Expériences de décharges d'un électroscope Hurmuzescu par les rayons X. — Photographies Röntgen obtenues avec les tubes **Colardeau, Colardeau-Chabaud** et focus. — Appareil ébullioscopique de **M. Raoult.** — Écrans montés et non montés, au platino-cyanure de baryum et au tungstate de chaux. — Électroscope à trois feuilles d'or de **M. Benoist**..... **M. Chabaud.**

Ampèremètres et voltmètres enregistreurs, système **Rocher**..... **Cie Continentale Edison.**

Lampe à incandescence de 500 bougies..... **Compagnie Gle des lampes à incandescence.**

Interrupteur automatique pour courants primaires de haute tension. — Allumeur-extincteur automatique à durée temporaire et variable. — Régulateur automatique de consommation de courant. — Interrupteur automatique de courant, manœuvrable à distance. — Interrupteur de lampes pour courant de 500 volts. — Coupe-circuits à fils fusibles interchangeables pour courant de haute tension de 500 à 5.000 volts. — (*Vestibule d'entrée.*) — Appareils divers

pour installations électriques et stations centrales... **Cie Fse d'appareillage électrique,** *anciens établissements* **Grivolas, Sage** et **Grillet.**

Quartz piézoélectrique..... **M. Curie.**

Gyroscope collimateur dans le vide, de l'amiral **Fleuriais,** modèle nouveau. — Petite balance ordinaire avec addition des chaînes, supprimant l'usage des petits poids, système **Serrin.** — Viscosimètre simplifié de M. **de Grobert** et **Démichel.** — Lampe à acétylène de M. **Gossard** avec bec **Viard.** — Appareil de M. **Léo Vignon,** pour le dosage des gaz renfermant des hydrocarbures..... **M. A. Démichel.**

Accumulateurs électriques, procédés **W.-A. Bœse**..... **M. A. Dinin.**

Expérience avec le gyroscope de **Léon Foucault.** — Moteurs électriques de 3kg, de 6kg à 8kg et de 10kg à 20kg. Moteur ventilateur à ailettes. — Micromètre au millième de millimètre. — Cinématographe **Joly.** **M. Doignon** (Successeur de M. Dumoulin-Froment).

Matériel complet pour réaliser les expériences du Prof. **Röntgen** « Rayons X ». — *Expériences dans la chambre noire du rez-de-chaussée; appareils dans la salle du premier étage.* — Grand support médical. — Châssis spéciaux pour la photographie. — Inscriptions rendues lumineuses par les rayons X. — Fluoroscopes explorateurs de MM. **Ducretet** et **Lejeune.** — Grand écran fluorescent, avec support spécial, pour cliniques. — Nouveau photomètre de MM. **Imbert** et **Bertin-Sans** pour la mesure rapide de l'intensité des rayons X. — Bobines Ruhmkorff avec nouveaux trembleurs. — Interrupteur à mercure pour fortes bobines, actionné par un moteur électrique. — Interrupteur à mercure, à diapason, de M. **J. Chappuis.** — Bobine de Ruhmkorff pour moteur à gaz. — Photographies à projection et photographies sur carton obtenues par les rayons X. — Nouveau robinet de MM. **E. Ducretet** et **Lejeune,** gardant le vide, appliqué à l'appareil de M. **Cailletet** destiné à capturer, automatiquement, l'air dans les hautes régions de l'atmosphère. — Sirène électrique de

M. **Pellat**, avec frein électromagnétique. — Boussole directrice militaire, de M. le commandant **Bernelle**.. MM. **E. Ducretet** et **L. Lejeune**.

Réfractomètre différentiel à deux divisions, système **A. Duboscq**. — Petit spectroscope pour l'examen des urines. Modèle de M. **Vieillard**. — Microscope polarisant..... M. **A. Duboscq**.

Récipients de sûreté destinés à contenir des gaz liquéfiés..... M. **J. Fournier**.

Dispositifs et ampoules radiographiques..... M. **Foveau de Courmelles**.

Transformateurs de courants continus en courants alternatifs à basses fréquences. — Moteurs. — Machine magnéto à étincelles de M. **Girard**. — Tubes Volta. — Milliampèremètre et voltmètre **d'Arsonval**, nouveaux modèles. — Interrupteur indépendant pour bobines Ruhmkorff, système **Contremoulins**, bobine Ruhmkorff à deux trembleurs. — Tableau d'utilisation des courants électriques pour l'électrothérapie..... MM. **Gaiffe** et **Cie**.

Chronophotographe **G. Demeny**. — Spécimens d'épreuves chronophotographiques (panneau de 1200 diapositives). — Projections animées. — Projections de diapositives extraites de la collection du **Comptoir général de Photographie**..... MM. **L. Gaumont** et **Cie**.

Bougeoirs autorégulateurs à acétylène..... M. **Émile Gossart**.

Clichés ayant servi aux mesures sur la réfraction et la diffraction des rayons Röntgen..... M. **Gouy**.

Grisoumètre à eau perfectionné par M. le Dr **Gréhant**, construit par M. **Golaz**. — Myodynamomètre à sonnerie, construit par M. **Noé**..... M. **Gréhant**.

Pendule compensé en acier au nickel préparé dans les aciéries d'Imphy, **Société de Commentry-Fourchambault**. — Série de poids en nickel ajustés par rodage, modèles du **Bureau international des Poids et Mesures**..... M. **Ch.-Ed. Guillaume**.

Fusil automatique par l'emploi des gaz de chaque cartouche tirée (système **Clair**)..... M. **A. Guinard**.

Ébullio-densimètre pour déterminer la densité des liquides en ébullition dans les appareils à cuire ou à évaporer dans le vide. — Appareil de contrôle des gaz de la combustion dans les foyers générateurs, système de **Ridder**. — Oléobutyromètre pour déterminer les proportions de margarine dans le beurre par la densité, procédé **Bullé**.....	MM. **Guyot** et **Berthod.**
Ballons jaugés avec correction de température de + 4° à + 30° (dans le vide). — Dilatation de l'eau distillée dans un thermomètre à réservoir de platine (+ 4° à + 55°).....	M. **A. Hémot.**
Spécimens divers de fixations de couleurs d'interférence.....	M. **Ch. Henry.**
Exploration de l'atmosphère à l'aide de ballons-sondes.	MM. **G. Hermite** et **G. Besançon.**
Deux radiographies obtenues sur des mains vivantes et donnant les détails sur le système vasculaire, sur les os et dans les chairs.....	M. **D. Hurmuzescu.**
Appareils de distribution. — Lampes à incandescence.	M. **V. Iloyne-Berline.**
Électrodynamomètre proportionnel. — Balances automatiques de précision et de demi-précision. — Compteur d'énergie électrique.....	M. **R. Jacquemier.**
Appareil du capitaine **Dévé** pour la vérification du dressage et de la ligne de mire des canons de fusil. — Biprismes de M. **Mascart**. — Réfractomètre **Tornoë**, avec prisme de Halwachs pour l'analyse des bières (richesse alcoolique et extrait sec). — Pièces d'optique de haute précision entrant dans la composition de l'électromètre de MM. **Perot** et **Fabry** — un cylindre, une glace mince, plane et parallèle. — Partie optique: miroirs concaves et miroirs plans du grand goniomètre de M. **Carvallo**.....	M. **Jobin.**
Stéréo-jumelle. — Stéréo-longue-vue. — Appareils d'optique. — Viseur stadimétrique universel pour appareils photographiques à main de M. **L. Benoist**....	MM. **E. Krauss** et **Cie**.
Appareil industriel pour la mesure des dilatations.....	M. **H. Le Chatelier.**

Appareil réalisant les vibrations de la lumière polarisée. — Appareil servant à l'explication de la polarisation rotatoire. — Appareil donnant la théorie de l'anneau Gramme. — Un ensemble de tous les systèmes cristallins représentant la forme des molécules élémentaires dans chacun des systèmes. — Appareil réalisant, par un mouvement géométrique imprimé à un point lumineux, l'extension moléculaire. — Appareil de cosmographie donnant à volonté les apparences et la réalité du mouvement diurne. — Appareil donnant la libration diurne de la lune à toutes les latitudes. — Oiseau mécanique : appareil pour déterminer le coefficient de résistance de l'air..... **M. Le Dantec.**

Lampes à acétylène portatives et carbure raffiné..... **MM. Létang** et **Serpollet.**

Appareil pour la fabrication des levures pures (méthode Pasteur). — Générateur d'acétylène, chargement discontinu. — Brûleurs pour chauffage à l'acétylène. **M. Lequeux.**

Phonographe à haute voix..... **M. Lioret.**

Moteurs à essence de pétrole..... **M. Loyal.**

Étude sur les cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig..... **M. Marage.**

Radiographies concernant quelques cas cliniques..... **M. Mergier.**

Projections diverses de clichés photographiques..... **M. Molteni.**

Dilatomètre de **M. Le Chatelier** : appareil pour la mesure de la dilatation par la méthode des anneaux colorés. -- Microscope disposé pour l'observation des corps opaques de **M. Le Chatelier.** — Pyromètre optique de **M. Le Chatelier.** — Photopolarimètre de **M. Cornu,** pour observations de jour et nuit. — Projection des franges d'interférence par réflexion et transmission de **M. Mascart.** — Hématospectroscope à analyseur chromatique et hématospectroscope grand modèle du **Dr A. Hénocque.** — Appareil de projection pour les lames de roche dans la lumière polarisée de **M. Munier-Chalmas.** — Dynamomètre inscripteur pour les cycles de flexion de **M. M. Brillouin.** — Appareil de **Lord Kelvin,** modifié par **M. M. Brillouin** avec addition d'un miroir pour projeter l'allongement d'un fil soumis à des charges — Oscillographe de **M. Blondel.** — Photomètre de **MM. Blondel** et **A. Broca.** -- Ergomètre de **MM. André Broca** et **Richet.** — Bi-

prisme lenticulaire et appareil pour les franges semi-circulaires de M. **Meslin**. — Spectrophotomètre de M. **d'Arsonval**. — Stéréoscope de M. **Cazes**. — Focomètre rapide construit pour M. **Damien**. — Réfractomètre de M. **Fery**. — Colorimètre grand modèle avec plongeur de $0^m,20$. — Appareil vertical avec chariot pour inscription et projection en marche. — Kaléidoscope de projection..... **M. Pellin** (Successeur de J. Duboscq).

Électromètre absolu interférentiel pour petits potentiels et voltmètre électrostatique interférentiel..... **MM. Perot** et **Fabry**.

Électrolyseur..... **M. Peyrusson.**

Actions lumineuses des rayons X. — Grande bobine de Ruhmkorff, permettant de répéter les expériences sur la luminosité des substances vitrifiées..... **M. Radiguet.**

Épreuves de radiophotographie. — Méthode de M. **Contremoulins** pour déterminer la position exacte des corps étrangers dans le corps humain..... **MM. Remy** et **Contremoulins.**

Anémomètre à main avec compteur de secondes : l'enclenchement et le déclenchement du compteur de tours et du compteur de secondes se font simultanément. — Thermomètre enregistreur à distance. — La transmission électrique entre le transmetteur et le récepteur ne nécessite qu'un seul fil. — Thermomètre enregistreur *bombe* pour enregistrer les variations de température à l'intérieur des effets placés dans les étuves de désinfection. — Contrôleur de rondes nouveau modèle. — Enregistreur magnétique de niveau d'eau de chaudière. — Perfectionnements apportés au vérascope. — Homéoscopes, nouveaux appareils de photographies stéréoscopiques. — Nouvel appareil dit *Cinématographe*, pour la prise et la projection des photographies animées..... **M. Jules Richard.**

Illusions qui accompagnent la formation des pénombres. — Applications aux rayons X. — Illusions de la vue qui accompagnent les défauts d'accommodation.... **M. G. Sagnac.**

Échantillons de carbures métalliques..... .... **Société des Carbures métalliques.**

Appareil pour l'allumage automatique du gaz, et en particulier du bec Auër..... **Société du Self-Allumeur.**

Appareil de M. **Larousse** pour répéter les expériences d'Ampère en utilisant les équipages comme couples thermo-électriques..... ... **M. Torchebeuf.**

Balance rhéostatique. — Lampes électriques de sûreté. Moteurs électriques fonctionnant indistinctement sur le courant continu ou sur le courant alternatif. — Nouvelle lampe portative à acétylène. — Lampe portative à acétylène employée par les Compagnies de chemins de fer. — Nouveaux appareils pour l'éclairage général par l'acétylène. — Appareil portatif avec bec à projection..... **M. Trouvé.**

Enregistreurs divers. — Appareils phonétiques de M. l'abbé **Rousselot.** — Signaux. — Stéthoscopes divers. — Dynamomètre et dynamographe..... **M. Ch. Verdin.**

Cristaux transparents obtenus par une méthode nouvelle de cristallisation..... **M. de Watteville.**

SÉANCE DU 7 MAI 1897.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 2 avril est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. JACOBS (Ferdinand), Président de la Société Belge d'Astronomie à Bruxelles.
MATHIEU, professeur au Lycée d'Evreux.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi d'une note de M. MESLIN : *Sur un phénomène relatif à la vision.*
Cette note sera insérée dans le *Bulletin des Séances.*

M. BLONDEL adresse à M. LE PRÉSIDENT une lettre dans laquelle il fait remarquer que l'oscillographe présenté par lui en 1893 et celui de M. Abraham répondent à des besoins différents. Il serait nécessaire toute-

fois d'appliquer à l'appareil de M. Abraham la condition d'apériodicité critique indiquée par M. Blondel et résultant de la réapparition des termes exponentiels que M. Abraham n'a pas fait figurer dans l'intégrale particulière de l'équation, faute de quoi on a des déplacements du zéro. Ces déplacements, dont l'oscillographe de M. Blondel est exempt, ne peuvent, semble-t-il, pas être évités dans l'inscription d'une décharge simple.

M. le Président prononce l'allocution suivante :

« Messieurs,

En ouvrant cette séance, j'ai à m'acquitter d'un devoir : Si j'avais pu présider les séances du mois dernier, j'aurais dû vous faire part de la perte que nous venions de faire en la personne de notre éminent collègue M. d'Abbadie.

Aux qualités de l'astronome et du géographe, M. d'Abbadie avait ajouté celles du physicien : c'est le seul titre que je veuille retenir ici.

Ceux d'entre nous qui fréquentaient, il y a quinze ans, les séances de notre Société, peuvent se souvenir de l'assiduité avec laquelle M. d'Abbadie venait écouter nos discussions.

L'âge n'avait affaibli ni l'ardeur ni la curiosité de son esprit ; debout dès le lever du soleil, il aimait à se faire expliquer dans leurs moindres détails les expériences récentes, ou il annotait les mémoires qui traitaient de ses sciences favorites.

M. d'Abbadie est mort en léguant à ses confrères de l'Académie des Sciences le soin de continuer les travaux d'astronomie et de physique terrestre qu'il avait entrepris dans son observatoire d'Abbadia.

Au nom des physiciens, je salue la mémoire de notre Collègue vénéré. »

« Messieurs,

J'ai maintenant à remplir une tâche moins pénible :

Il est de tradition que votre Président vous adresse un Compte Rendu sommaire de l'Exposition annuelle de la Société pendant la semaine de Pâques.

Étant absent de Paris à cette époque, je n'ai pu me joindre à vous. Je dois donc me borner à renvoyer aux organisateurs et aux exposants l'écho des compliments qu'ils se sont attirés, et qui me sont parvenus. J'y joindrai, en votre nom, tous les remerciements de la Société.

Tout d'abord, nous devons constater combien les séances de Pâques ont d'attrait pour nos collègues de province, si l'on en juge par le nombre des demandes de billets de chemins de fer, qui, cette année, a été plus grand que les années précédentes.

La visite de l'Usine de la Compagnie générale des lampes à incandescence offrait un intérêt tout particulier. Je prie l'administrateur délégué M. Azaria, de recevoir ici tous nos remerciements pour la courtoisie avec laquelle il a guidé près d'une centaine de nos collègues au travers d'une usine généralement fermée aux visiteurs.

Je dois aussi adresser l'expression de notre gratitude aux Sociétés qui ont éclairé nos salles avec le luxe que vous avez pu apprécier. Ce sont la Compagnie d'Eclairage Denayrouse et la Société Cance. Je tiens à remercier personnellement M. Cance du concours désintéressé qu'il donne depuis plusieurs années à nos expositions.

Pour ce qui est de l'exposition elle-même, je ne puis que vous rappeler en passant les installations qui ont groupé le plus de spectateurs, telles que les expériences faites avec les oscillographes de M. Abraham et de M. A. Blondel, l'exposition très remarquable des appareils de MM. Arnoux et Chauvin, l'admirable instrument construit par M. Gautier sur les indications de M. Carvallo et avec le concours de M. Jobin, dont les autres appareils optiques étaient également très appréciés ; je citerai encore le pendule de M. Guillaume, les appareils industriels de la Compagnie française d'appareillage électrique si bien présentés par le directeur de cette Compagnie, M. Zetter.

Je ne voudrais pas omettre de mentionner les instruments que MM. Hermite et Besançon envoient dans l'atmosphère avec leurs ballons-sonde et au milieu desquels on pouvait admirer le bel appareil de M. Cailletet pour recueillir l'air à de grandes hauteurs.

Il y avait foule, pour voir les projections de M. Molteni, qui n'a jamais épargné ni son temps ni sa peine quand il s'agissait de notre Société, foule autour du phonographe de M. Lioret, et du cinématographe de M. Demeny, présenté par M. Gaumont, ou encore autour des expériences de M. Radiguet.

Si je n'ai pas encore parlé de nos grands constructeurs d'instruments de précision, ou si j'ai cité à peine quelques-uns de leurs appareils, c'est qu'en terminant cette rapide énumération je tenais à leur dire, à tous, combien les savants leur sont reconnaissants du dévouement avec lequel ils mettent à leur disposition toutes les ressources de leur art et de leur talent.

Ai-je besoin de vous rappeler l'ensemble de l'exposition de MM. Ducretet et L. Lejeune, ou encore les appareils construits avec le soin que vous savez par M. Pellin pour MM. Brillouin, Blondel, Le Chatelier, d'Arsonval, Cornu et Mascart. L'exposition de M. Chabaud nous a rappelé comment, grâce à ses expériences et à celles de M. Colardeau, il a marché depuis un an de succès en succès, dans la construction des tubes produisant les rayons X. Je cite enfin, en terminant, le nom de M. Carpentier, dont les appareils révèlent le savant à côté du constructeur, et qui depuis longtemps a conquis le premier rang dans deux spécialités si distinctes, les mesures électriques de précision et l'optique photographique.

Je m'arrête, regrettant de ne pouvoir citer tous nos constructeurs, tous nos exposants, et en leur adressant tous les remerciements de la Société pour la belle manifestation scientifique à laquelle ils avaient convié nos Collègues de Paris et de la Province. »

M. Henri Becquerel expose à la Société quelques-unes de ses *expériences sur la décharge des corps électrisés sous l'influence des radiations émises par l'uranium*. Après avoir rappelé l'expérience fondamentale montrant la

décharge d'un électroscope, lorsqu'on approche un morceau d'uranium métallique, il cite en particulier les expériences suivantes : Si l'on dispose à quelques millimètres l'une de l'autre deux boules de cuivre, l'une en relation avec une source d'électricité, l'autre avec un électroscope à décharges, et qu'on vienne à approcher des deux boules une plaque d'uranium, on constate un débit continu d'électricité entre les deux boules. Si l'une des boules est une boule d'uranium, le débit s'établit de lui-même. Si la boule d'uranium est isolée, et d'abord au potentiel zéro, elle prend un potentiel croissant qui atteint bientôt un maximum, et reste constant si le potentiel de la boule voisine est lui-même constant. Pour deux sphères de $13^{mm},7$ de diamètre à 1 millimètre de distance, la sphère d'uranium atteint des potentiels dont la valeur maximum a été proportionnelle au potentiel de la boule de cuivre; celle-ci étant, par exemple, à 50 volts, le potentiel de la boule d'uranium s'est élevé à 16 volts, une boule de cuivre substituée à la boule d'uranium dans les mêmes conditions n'atteignait par influence qu'un potentiel de $3^{v},8$... Une sphère d'uranium, isolée au milieu d'une enveloppe électrisée, prend le potentiel de cette enveloppe.

La décharge se fait exclusivement par l'air ou par le milieu ambiant. Si on provoque un courant d'air entre l'uranium et un corps électrisé, la décharge se ralentit; le rapport $\frac{dv}{dt}$ peut être réduit au tiers de sa valeur.

L'air ainsi enlevé et modifié par l'uranium décharge les corps électrisés qu'il rencontre. Dans le vide, la déperdition est nulle. Une boule d'uranium électrisée et isolée dans le vide reste chargée... A la pression atmosphérique, la déperdition est plus lente dans l'hydrogène que dans l'air.

La déperdition, dans l'air, de la charge d'une sphère d'uranium électrisée, est fonction du potentiel v de cette sphère; la relation est de la forme :

$$\frac{dv}{dt}\left(a+\frac{b}{v}\right)=-1\ ;$$

a et b sont proportionnels à la capacité du système électrisé qui se décharge par la surface de la sphère d'uranium. Pour les grandes capacités et les faibles potentiels, on a sensiblement $\frac{1}{v}\frac{dv}{dt}=-\frac{1}{a}$, tandis que pour les forts potentiels on tend vers $\frac{dv}{dt}=-\frac{1}{b}$.

A propos des conclusions de M. Becquerel qui montrent que c'est par l'intermédiaire du gaz lui-même que s'effectue la décharge par les rayons uraniques, M. Broca rappelle les résultats obtenus par M. Villari dans la décharge de corps électrisés.

Ce savant a montré que le passage par un ozoniseur enlevait à tous les gaz qui l'ont acquise la propriété de décharger les corps. Il a opéré avec les gaz soumis aux rayons X, à l'étincelle électrique, avec les gaz de combustion.

Ceci semble bien prouver que la propriété de décharger les corps électrisés est bien due à une ionisation. Les expériences de M. Becquerel avec les rayons uraniques semblent bien montrer que la décharge qu'ils opèrent se fait par le même mécanisme.

M. Guillaume rend compte des recherches de MM. Rubens et Nichols *sur les radiations de grande longueur d'onde.*

Les premières mesures ont été faites par M. Nichols à l'aide d'un radiomètre de Crookes d'une grande sensibilité. Elles ont révélé l'existence d'une bande entre $\lambda = 8\mu$ et $\lambda = 9\mu$, dans laquelle le quartz possède la réflexion métallique, avec absorption totale sous de faibles épaisseurs ; en même temps, l'indice de réfraction monte rapidement vers les grandes longueurs d'onde.

MM. Rubens et Nichols ont étudié ensuite la réflexion sélective du quartz, du mica et du spath-fluor. Ils ont retrouvé la bande découverte par M. Nichols, et une autre bande appartenant au quartz, et dont le maximum est à $\lambda = 20{,}75\mu$. Le mica possède trois bandes de réflexion, et le spath-fluor une seule au voisinage de 24μ.

Les auteurs se sont servis dans la suite de cette particularité du spath pour étudier les propriétés optiques d'un grand nombre de corps pour ces rayons. Une radiation, épurée par plusieurs réflexions sur le spath était ensuite réfléchie, absorbée, réfractée dans les corps étudiés. Tous les métaux réfléchissent complètement cette radiation. Le quartz et le mica en réfléchissent une proportion notable. Le sel gemme l'absorbe en partie. La couche de noir de fumée des bolomètres en laisse passer la moitié.

MM. Rubens et Nichols ont répété avec les rayons réfléchis par le spath-fluor les expériences de M. Garbasso sur les radiations électriques. Ils ont construit, dans ce but, des résonnateurs composés de petits rectangles d'argent sur une lame de verre. Ils ont trouvé que la réflexion est maxima lorsque le vecteur électrique de la vibration est parallèle au grand côté des rectangles, et lorsque la longueur de ces derniers est égale à un nombre entier de demi-longueurs d'onde.

M. Guillaume établit ensuite une comparaison de quelques propriétés des corps au-dessous et au-dessus de la bande spectrale encore inconnue, en particulier l'indice de réfraction de l'eau, qui est de 1,3 environ dans le spectre visible, et monte à 8 ou 9 dans le spectre électrique. M. Drude a trouvé que tous les liquides contenant un hydroxyle présentent l'anomalie électrique. D'autre part, M. Ramsay a montré que tous les corps contenant la même fonction chimique possèdent la propriété d'associer leurs molécules. La première propriété pourrait être une conséquence de la seconde. L'association engage, en effet, des efforts peu considérables, puisqu'elle est accompagnée de phénomènes thermiques sensiblement nuls. La vibration interne de la molécule associée doit donc être très lente et pourrait être de l'ordre de grandeur des oscillations électriques. Les liquides

en question peuvent donc posséder une bande d'absorption très diffuse dans cette région.

SÉANCE DU 21 MAI 1897.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 mai est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée d'Angers.
DININ (Alfred), Ingénieur électricien à Paris.
GAUMONT (G.), Directeur du Comptoir Général de Photographie à Paris.
GRIVOLAS (Claude), Ingénieur civil, Administrateur de la Cie française d'appareillage électrique, à Paris.
LÉTANG (Marc), Docteur en médecine à Paris.
MESLANS (Maurice), Agrégé de l'Ecole Supérieure de Pharmacie de Nancy.
PELISSIER (Georges), à la Garenne (Seine).
WALCKENAER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École Nationale des Mines, Paris.
ZETTER (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Cie française d'appareillage électrique à Paris.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société les pertes regrettables qu'elle vient de faire dans les personnes de : MM. *Bézodis*, professeur honoraire de l'Université ; *Nolot*, professeur au Lycée de Roanne ; et *Slouguinoff*, directeur de l'Institut de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

M. LE PRÉSIDENT annonce ensuite que l'*Association Française pour l'avancement des sciences* tiendra son XXVIe Congrès à Saint-Etienne, du 5 au 12 août 1897, sous la présidence de M. Marey, membre de l'Institut. La Société est invitée à désigner un délégué pour la représenter.

M. ABRAHAM demande à répondre en quelques mots à la lettre de M. Blondel, lue à la précédente séance. Les remarques de M. Blondel tendraient à faire supposer que l'oscillographe [1] n'est plus fidèle quand on enregistre une décharge isolée. En réalité, l'instrument continue à donner de bonnes indications. Deux des clichés projetés dans l'avant-dernière réunion de la Société en donnent la preuve *expérimentale*. L'un d'eux montre la décharge d'un condensateur, et l'autre la suppression brusque d'un

---

[1] Ne vaudrait-il pas mieux dire *rhéographe* ?

courant permanent. Dans ce dernier cas, le galvanomètre revenait immédiatement et bien exactement au zéro.

M. Blondel dit, d'autre part, qu'il « serait nécessaire d'appliquer la condition de l'apériodicité critique ». M. Abraham pense que cet amortissement particulier n'est pas *nécessaire*. Pour éviter, en effet, tout phénomène de résonance, la période de l'oscillation propre du galvanomètre, de l'ordre de une seconde, est très longue en comparaison du temps que durent les variations successives du courant. Si donc on envoie dans l'appareil une décharge simple, l'enregistrement se fait, le galvanomètre reprend sa position d'équilibre, et tout est terminé en un temps très court, bien avant que l'équipage mobile ait eu le temps, pour ainsi dire, de songer à osciller pour son propre compte.

Au sujet des termes exponentiels dont parle M. Blondel, termes intervenant dans l'intégration du problème, lors de l'enregistrement d'une décharge simple, l'auteur présente les considérations suivantes:

Admettant que les équations soient *rigoureusement :*

$$(1) \qquad K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gi$$

pour le mouvement, et

$$(2) \qquad K\frac{d^2I}{dt^2} + A\frac{dI}{dt} + CI = \lambda i$$

pour le courant; la solution adoptée $\theta = \frac{G}{\lambda} I$ ne serait pas une solution approchée, mais bien la solution *rigoureuse* du problème, *sans qu'il s'introduise aucun terme exponentiel* au début de la perturbation. Les conditions initiales sont, en effet, les mêmes pour θ et pour I, puisque ces deux variables et leurs dérivées premières sont nulles avant la perturbation.

M. René Benoît rend compte de déterminations récemment exécutées par lui, au Bureau international des Poids et Mesures, dans le but d'établir des étalons *exacts* des petites subdivisions décimales du mètre, c'est-à-dire du millimètre et du centimètre, en appliquant les méthodes interférentielles imaginées par M. Michelson. Après avoir indiqué le rôle important que jouent ces petites divisions pour le métrologiste, auquel elles fournissent, par la *tare* de ses micromètres ou instruments de mesure quelconques, l'unité de toutes ses mesures, et rappelé les méthodes qui servent généralement à les obtenir par l'étalonnage de la division d'une échelle métrique entière, il montre comment on peut les déduire, par un procédé plus rapide et au moins aussi précis, des longueurs d'ondes des radiations du spectre du cadmium, antérieurement déterminées par M. Michelson, avec sa collaboration, dans le travail sur *le Mètre en longueurs d'ondes* qui a été exécuté au Bureau international.

Les étalons à déterminer étaient de petites échelles centimétriques et millimétriques, tracées en traits fins sur des réglettes de nickel parfaite-

ment polies. Pour évaluer en longueurs d'ondes l'un des millimètres de l'une de ces échelles, on place celle-ci sur la surface supérieure d'un *étalon Michelson*, constitué par un barreau de bronze portant à sa partie antérieure deux glaces planes, disposées en escalier, l'une au-dessus et en arrière de l'autre, et dont les surfaces ont été réglées exactement parallèles et à une distance l'une de l'autre à très peu près égale à 1 millimètre. Les opérations à faire consistent: 1° à mesurer directement en longueurs d'ondes la distance exacte de ces deux plans; 2° à comparer à cette distance la distance des deux traits limitatifs du millimètre à étudier.

Ces opérations se font au moyen du réfractomètre Michelson. La première se fait par la simple mesure de l'*excédent fractionnaire*, qui dispense de compter le nombre des longueurs d'ondes comprises entre les deux surfaces, c'est-à-dire, pratiquement, le nombre des franges qui passent dans le champ de la lunette, quand on déplace progressivement l'étalon Michelson sur sa coulisse d'une quantité égale à cette distance. Ce compte, qui serait déjà laborieux et sujet à bien des chances d'erreurs sur 1 millimètre, deviendrait absolument impraticable pour 1 centimètre, qui représente plus de 31000 franges de la lumière rouge du cadmium. Si la distance des deux plans est connue approximativement, si, par conséquent, le nombre entier de longueurs d'ondes d'une lumière donnée à laquelle elle correspond est connu d'avance à quelques unités près, le chiffre de l'unité exacte sur ce nombre peut être fixé, sans aucune ambiguité, par la simple mesure de la partie fractionnaire qui l'accompagne, à la condition de faire simultanément cette mesure avec les quatre radiations que fournit le spectre du cadmium. La comparaison des valeurs des fractions obtenues par l'expérience dans les quatre couleurs avec celles qui résulteraient des *rapports* des longueurs d'onde des quatre radiations, conduit immédiatement à la fixation de cette unité, avec une sûreté absolue. Ces mesures se font par le procédé indiqué par M. Michelson, à l'aide du *compensateur* de son appareil, et en employant les franges circulaires, localisées à l'infini, obtenues dans le cas d'une lame limitée par deux surfaces parallèles et placées à une certaine distance l'une de l'autre.

La deuxième opération se fait en amenant successivement dans un même plan les deux surfaces de l'étalon Michelson, par un déplacement sur sa coulisse perpendiculaire à ses surfaces, et substituant ainsi l'un à l'autre, sous un microscope à micromètre disposé au-dessus de la réglette, les deux traits limitatifs du millimètre à déterminer. Les positions limites, dans ce déplacement, sont fixées au moyen des franges obtenues en lumière blanche, colorées symétriquement par rapport à une frange achromatique centrale que l'on ramène toujours sur un même trait de repère; ces franges sont caractéristiques, dans chaque cas, de la coïncidence exacte, le long de la frange achromatique, de la surface sur laquelle elles se produisent, avec la surface virtuelle que M. Michelson a désignée sous le nom de *plan de référence*.

Tous les millimètres composant le centimètre de l'une des échelles

ayant été ainsi déterminés individuellement, on a contrôlé ensuite les résultats en mesurant directement le centimètre, c'est-à-dire leurs sommes par le même procédé, mais par des opérations indépendantes faites au moyen d'un second *étalon Michelson*, dans lequel la distance des glaces était de 1 centimètre.

Les échelles ainsi déterminées, au nombre de 7, ont été ensuite employées pour des comparaisons avec les anciens millimétriques du Bureau international, obtenus précédemment par étalonnage d'une échelle divisée, et ont fourni quelques vérifications importantes.

Sur quelques perfectionnements dans les lunettes terrestres, par M. A. Ginsberg, *collaborateur scientifique de la maison* E. Krauss et Cie. — Les deux constructions classiques, celles de Galilée et de Kepler, épuisent théoriquement le problème de la vision à grande distance. Au point de vue pratique, l'une et l'autre présentent un certain nombre de défauts qu'il importe de supprimer pour réaliser un instrument à la fois portatif et maniable, donnant une grande netteté et une clarté suffisante, en même temps qu'un champ de vision suffisamment étendu. En rappelant les propriétés principales de la lunette de Galilée, M. Ginsberg montre l'impossibilité d'apporter des perfectionnements réels à cet instrument. Il passe ensuite à la lunette de Kepler et fait voir les inconvénients de l'oculaire terrestre et indique les moyens de l'éviter par l'emploi des systèmes catoptriques appropriés. Ces systèmes doivent remplir les conditions suivantes : Ils doivent être à vision directe, la réfraction à l'entrée et à la sortie des prismes doit se faire sous une incidence presque nulle, les réflexions doivent se produire au voisinage des angles limites, et l'image doit être redressée. Le système des prismes Porro satisfait à ces conditions. Il se compose des deux paires de prismes à réflexion totale ayant respectivement les sections principales à angle droit.

M. Ginsberg insiste ensuite en quelques mots sur les conditions dans lesquelles se produit l'effet stéréoscopique en général et explique comment deux systèmes des prismes Porro combinés convenablement peuvent contribuer à augmenter la perception de la profondeur. Cette combinaison se trouve réalisée dans les deux instruments remarquables qu'il présente : la stéréo-jumelle Zeiss-Krauss, et la stéréo-longue-vue Zeiss-Krauss.

Production simultanée de rayons X et de lumière stratifiée dans un nouvel appareil cathodique, par M. Foveau de Courmelles. — Désirant obtenir la concentration des rayons X sur un point, l'auteur a imaginé un appareil cathodique nouveau formant une réflexion double sur deux anticathodes. L'appareil est une double ampoule ayant une partie commune, le réservoir gazeux supérieur, alors que les deux ampoules ayant leur anode et leur cathode sont très petites et communiquent chacune par une tubulure avec le même circuit gazeux.

Cette double ampoule jouit de propriétés particulières qui ont été obser-

vées par l'auteur en collaboration avec M. G. Seguy, au laboratoire de M. Le Roux à l'Ecole supérieure de Pharmacie.

On place l'appareil sur le vide et l'on constate bientôt *que la pression intérieure dans un tube vide n'est pas égale en tous les points;* qu'en une des ampoules, celle réunie à la cathode, le vide est poussé beaucoup plus loin qu'à l'autre extrémité du même circuit gazeux; et que les molécules qui peuvent rester dans ces milieux très raréfiés sont chassées avec une extrême violence vers le point le plus extrême du circuit de l'appareil.

Voici, du reste, les expériences de MM. Foveau de Courmelles et G. Seguy :

1° En réunissant en tension les deux ampoules et les reliant à la bobine, on a des rayons cathodiques très forts avec production de rayons X, du côté de la cathode première, et simplement de belles stratifications à la seconde cathode de la seconde ampoule, sans la moindre production de rayons X.

Les essais, faits avec des plaques sensibles, ont été positifs pour la première ampoule et nuls pour la seconde.

2° Lorsqu'on alimente seulement l'une des deux ampoules, on a indifféremment des rayons cathodiques et de la lumière stratifiée.

3° Si l'on augmente le vide, au moment où le tube commence à résister au passage du courant, les deux ampoules donnent toutes deux des rayons X, mais celle qui a la cathode en produit davantage que celle recevant la transmission négative par l'autre ampoule.

4° Les deux ampoules réunies à deux bobines également puissantes donnent également des rayons X.

5° Les deux ampoules, montées en quantité, donnent, dans *la moins résistante*, des rayons X d'une façon continue; dans l'autre, de rares éclairs.

Les auteurs poursuivent leurs recherches sur ces circuits multiples greffés sur un même circuit gazeux, démontrant l'inégalité de pressions sous l'action d'un courant. Les radiographies obtenues sont particulièrement nettes.

M. Villard reconnaît que la disposition adoptée par M. Foveau de Courmelles permet de reproduire sous une forme très nette les apparences observées par tous ceux qui ont fait le vide dans des tubes de Crookes; mais il ne pense pas que, de l'aspect que prend un tube sous l'action de la décharge, on puisse tirer une conclusion relativement à la distribution de la matière à son intérieur. Le mode d'illumination du gaz dépend à la fois de la forme de l'appareil, de la position des électrodes, de la pression et de la source électrique. Tel tube est Crookes pour un sens du courant, Geissler pour le sens opposé; on ne peut en conclure cependant que la pression ait changé.

L'hypothèse proposée ne paraît d'ailleurs pas s'adapter à la cinquième expérience : les deux ampoules étant montées en quantité, le courant passe dans la moins résistante; si la matière était chassée par la décharge dans la seconde ampoule, cette dernière, devenant la moins résistante, s'illuminerait à son tour : le même phénomène se reproduisant encore,

on aurait une illumination alternative des deux ampoules, ce qui n'a pas lieu.

Les phénomènes en question peuvent, au contraire, être ramenés à ceux décrits par Crookes : les ampoules étant en tension, la chute de potentiel se fait, en réalité, presque tout entière à la cathode directement reliée à la bobine. Ce fait est facile à vérifier avec la plupart des tubes de Crookes : il suffit de coller sur le tube deux bandes d'étain, l'une au niveau de la cathode, l'autre à quelques millimètres en avant; entre ces deux bandes jaillissent de vives étincelles; rien de pareil ne se produit vers l'anode. On sait d'ailleurs qu'un tube à gaz n'est pas assimilable à un conducteur métallique. Il résulte de là que les rayons cathodiques ne se produiront, en général, que dans la première ampoule.

La cinquième expérience s'explique sans difficulté, les deux parties de l'appareil n'étant pas rigoureusement identiques.

Il semble du reste que, pour pouvoir conclure à une inégale répartition de la matière dans le tube, il faudrait séparer les deux ampoules pendant le passage du courant, et s'assurer alors que l'une est un tube de Crookes, l'autre un tube de Geissler.

SÉANCE DU 4 JUIN 1897.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 mai est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BLUMBACH (Théodor), membre de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire de Russie à Saint-Pétersbourg (Russie);
DUPONT (Charles), Electricien à Saint-Mihiel (Meuse);
HERSCHOUN (Alexandre), Etudiant au laboratoire de physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

Electromètre absolu interférentiel pour petits potentiels, et voltmètre électrostatique interférentiel de MM. PEROT et FABRY. — Les électromètres absolus actuellement en usage ne se prêtent pas à la mesure directe de petites différences de potentiel, parce que les forces mises en jeu sont trop petites. L'électromètre absolu de MM. Perot et Fabry diffère des électromètres à plateaux construits jusqu'ici, en ce que la distance des surfaces planes est extrêmement faible (de l'ordre de $0^{mm},1$). La force attractive est alors assez grande pour être mesurée, même lorsque la différence de potentiel

n'excède pas une quinzaine de volts. L'appareil, réellement idiostatique, ne comporte l'emploi d'aucune différence de potentiel auxiliaire.

L'emploi d'aussi petites distances conduit à constituer les plateaux par des disques de verre argentés. Leur parallélisme peut être contrôlé, et leur distance mesurée par une méthode optique. L'emploi de l'anneau de garde n'étant plus pratique, on a constitué l'un des plateaux par la base plane d'un cylindre droit de 6 centimètres de diamètre et de 1 centimètre d'épaisseur; ce disque est fixe, et son diamètre a été mesuré par une méthode optique.

L'autre plateau, placé au dessus, est sensiblement plus large et fait l'office de plateau indéfini. On peut, dans ces conditions, calculer l'attraction des deux disques en tenant compte des bords. Les prises de contact se font en dehors des régions utiles et ne troublent en rien le phénomène. Le disque large supérieur est porté par un système de trois ressorts, qui fléchit d'environ 3 μ pour une surcharge de 1 milligramme. On détermine la différence de potentiel qui produit une attraction exactement égale au poids d'une surcharge que l'on peut déposer au centre du plateau supérieur, de façon que la substitution de l'une des forces à l'autre ne produise aucune variation dans la situation respective des deux disques. Cette différence de potentiel est immédiatement comparée par la méthode d'opposition avec celle qu'on veut mesurer.

Le contrôle du parallélisme et la mesure de la distance se font par des méthodes interférentielles. Les argentures étant très minces, le système laisse passer une quantité appréciable de lumière. En lumière monochromatique, la mince lame d'air qui sépare les deux plateaux donne un système de franges dont M. Perot décrit l'aspect et les propriétés; elles permettent un réglage très parfait du parallélisme des surfaces. Leur distance est mesurée en la comparant avec l'épaisseur en un point d'une lame mince prismatique préalablement étalonnée.

On a trouvé, pour la force électromotrice à 0° d'un élément Latimer-Clark, 0,0048444 unité électrostatique C. G. S. D'autre part, M. Limb a trouvé pour la même force électromotrice le nombre $1.4535.10^{-8}$ unité électromagnétique C. G. S. La comparaison de ces deux nombres donne la valeur du rapport des unités $V = 300,03.10^{8}$.

Sur le même principe, MM. Perot et Fabry ont construit un voltmètre électrostatique pouvant servir à l'étalonnage des voltmètres industriels. Les deux plateaux sont alors ramenés toujours à la même distance au moyen d'un ressort, dont la tension, proportionnelle à son allongement, mesure la force attractive. L'appareil que M. Perot fait fonctionner devant la Société permet de mesurer des potentiels de 15 à 70 volts à 0,1 environ. Il sera facile de construire des appareils pour des voltages plus élevés en employant des ressorts plus forts.

Pour la première fois, M. Pellin utilise le courant alternatif du secteur, pour projeter différents clichés, ainsi que les franges des lames minces argentées en lumière monochromatique.

M. Villard présente à la Société des tubes de Crookes régénérables à volonté, et réglables même en marche. Accessoirement, l'anticathode ordinaire en platine est remplacée par une lame d'iridium pur : ce métal, en raison de sa dureté, n'est pas perforé par le choc des rayons cathodiques, même concentrés en un faisceau très fin. L'iridium a, en outre, l'avantage de ne pas donner sur le verre de dépôt métallique qui absorbe les gaz. L'auteur fait en même temps remarquer que l'emploi d'un métal très dense n'est pas nécessaire : le fer, le nickel donnent un aussi bon rendement que le platine.

Une électrode auxiliaire (compensateur de vide) permet de régénérer le tube quand il est devenu trop résistant. Cette électrode est constituée par du magnésium ou de l'aluminium ; elle est disposée de telle sorte qu'elle permette au courant de passer, alors même que le tube ne fonctionne plus avec les électrodes ordinaires. Le compensateur étant relié au pôle négatif d'une bobine de Ruhmkorff, il suffit de faire passer le courant deux ou trois fois pour qu'il se dégage un peu de gaz, et le tube est remis en état. Si par hasard on a dépassé le but, on peut faire réabsorber l'excès de gaz par le compensateur en le prenant comme anode : pour cette dernière opération, il est avantageux d'employer la décharge avec interruption, et de se servir de l'interrupteur Foucault ; on doit éviter de laisser le tube s'échauffer notablement.

Le réglage pendant la marche s'obtient au moyen d'une cathode supplémentaire sur laquelle on dérive, avec un petit excitateur, une partie du courant qui passe par la cathode principale. On diminue ainsi la résistance du tube : celle-ci est minima quand les deux cathodes sont réunies métalliquement, maxima si une seule des deux est en fonction. Les axes des deux cathodes doivent évidemment être dirigés vers le même point de l'anticathode. Cette condition essentielle est réalisée d'une manière parfaite dans les tubes présentés par l'auteur et construits, sur ses indications, par M. Chabaud.

L'emploi combiné du compensateur et de la cathode régulatrice permet d'adapter les tubes à la source électrique dont on dispose, et de les maintenir constamment à leur maximum de puissance.

SÉANCE DU 18 JUIN 1897.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOIT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 4 juin est adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Braun (Gaston), à Paris.

M. A. GUÉBHARD, croyant pouvoir attribuer avec certitude à un simple accident de développement photographique qu'il étudiait depuis quelque temps les « enregistrements scientifiques d'effluves humains ou de fluide odique » présentés à la Société de Biologie par M. le Dr Luys, tient à communiquer, sans plus attendre, à la Société de Physique, avec les premiers résultats de ses recherches sur « le moutonnement et la zébrure des clichés photographiques » des épreuves de séries de clichés où, toutes autres conditions égales, des effets identiques ont été obtenus par l'apposition, sur des plaques sensibles maintenues pendant 15 à 20 minutes dans un bain révélateur abandonné au repos, des objets les plus divers, inertes aussi bien que vivants : doigts de la main, doigt de gant bourré de grenaille de plomb, flacons de formes diverses, bouts de bougie, etc. L'apparition d'auréoles autour de l'empreinte de l'objet, comme celle de lignes de flux semblant en émaner, sont uniquement dépendantes des conditions physiques de l'expérience, et M. Guébhard donne un premier aperçu des lois de leur formation, due aux phases successives d'un mode particulier de groupement moléculaire interne qui se montre dans tous les liquides troubles ou simplement hétérogènes abandonnés au repos sous faible épaisseur, depuis une sorte de cloisonnement cellulaire et réticulé, puis de schistation canaliculée ou de stratification verticale, qui, l'une et l'autre, suivent les directions et, par conséquent, peuvent enregistrer les images des lignes, soit de flux, soit d'égale pression, des dernières agitations tourbillonnaires du liquide, régularisées en cela plutôt que compliquées, par l'action spéciale des ménisques, dont l'étude est actuellement en cours.

Études sur les cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig, par M. MARAGE. — Jusqu'ici on n'avait demandé qu'une qualité aux cornets acoustiques : l'intensité du son ; on ne s'était pas préoccupé de savoir si la hauteur et le timbre étaient modifiés, si le malade était fatigué par l'usage de l'instrument, si, enfin, la surdité n'était pas aggravée par l'usage prolongé de l'appareil.

Pour combler cette lacune, M. Marage a cherché d'abord quelle était la flamme caractéristique de chaque voyelle ; puis il a étudié les modifications

que font subir au son les cornets acoustiques, et enfin il a cherché l'appareil qui, tout en augmentant l'intensité des vibrations, leur laissait leur hauteur et leur timbre. Il est arrivé ainsi, par une méthode scientifique, à faire construire un instrument conservant aux voyelles leur caractéristique, ne fatiguant pas les malades, et agissant en même temps comme moyen thérapeutique pour masser le tympan et la chaîne des osselets.

M. Marage est arrivé ainsi à déterminer :

1° L'influence des miroirs, qui, en tournant, déplacent une grande quantité d'air, ce qui déforme les flammes;

2° L'influence du tube ;

3° L'influence de l'embouchure devant laquelle on parle : cette influence est énorme, et l'on comprend que les expérimentateurs soient arrivés à des résultats différents, s'ils ont pris des embouchures quelconques;

4° Il a cherché à vérifier les vocables indiqués par Helmholtz, Kœnig et Donders ;

5° Enfin il a cherché l'embouchure qui modifiait le moins la nature des voyelles.

En résumé, l'auteur croit que la méthode des flammes manométriques, ainsi modifiée, peut rendre de grands services dans les études d'acoustique.

M. le professeur Marey, qui étudie en ce moment dans son laboratoire les divers procédés d'étude des sons, a demandé à M. G. Weiss de signaler à l'attention de la Société de Physique le remarquable travail de Ludimar Hermann sur le timbre en général et en particulier sur la constitution des voyelles et des consonnes.

La méthode de Hermann consiste à produire le son, à étudier devant un phonographe d'Edison, à vérifier que l'appareil restitue fidèlement ce son qui, par conséquent, a été bien enregistré, puis à le traduire en courbes. Cette dernière opération se fait en fixant un petit miroir sur la membrane du phonographe, et en photographiant sur un papier sensible mobile un point lumineux réfléchi dans ce miroir.

Mais une des parties les plus intéressantes de ce travail consiste dans la méthode d'étude des courbes obtenues.

Ces courbes peuvent se représenter par des séries de Fourier de la forme

$$y = A_1 \sin x + A_2 \sin 2x + \ldots + B_1 \cos x + B_2 \cos 2x + \ldots$$

en négligeant le terme tout connu qui correspond à un déplacement de l'axe des x, ce qui n'a aucun intérêt. Il s'agit de déterminer $A_1 A_2, \ldots, B_1 B_2$, etc.

Généralement cette détermination est extrêmement longue et pénible ; Hermann a imaginé un procédé simple, rapide et d'une précision remarquable.

Il faut, dans une période de la courbe, mesurer 40 ordonnées équidistantes ; ces valeurs sont inscrites sur un papier quadrillé dans une colonne. A la suite de chaque valeur, on inscrit dans les carrés d'une

ligne cette valeur multipliée par cos 9°, cos 18°, cos 27°, ..., cos 90°, la valeur de l'arc variant de 9° en 9°. On a ainsi un tableau qui s'obtient rapidement à l'aide d'une table dressée par L. Hermann et contenant toutes les ordonnées de 0 à 150, multipliées par les différents cosinus de 9° en 9°.

Cela fait, pour avoir une valeur quelconque A ou B, il suffit d'appliquer sur le tableau un papier fenêtré et de faire la somme algébrique des valeurs apparaissant dans les fenêtres. Cette opération se fait très rapidement, les nombres à ajouter ne comportant pas de décimales. Quand on a deux valeurs A_n et B_n correspondant à l'harmonique d'ordre n, on a l'ordonnée maxima correspondante par $C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$. La phase n'a aucun intérêt, comme on le sait; cependant, si on désirait l'avoir, elle serait exprimée par arc tg $\frac{B_n}{A_n}$. Hermann a construit les papiers fenêtrés pour les 18 premiers harmoniques, ce qui, dans tous les cas, est plus que suffisant.

Pour se rendre compte de la méthode, M. Weiss a fait la synthèse d'une courbe périodique, comprenant la période fondamentale et les harmoniques 2, 3, 4, 8, 12, 16. Voici, comparativement, les valeurs des ordonnées maxima introduites et extraites par la méthode de Hermann :

Harmonique	Valeur introduite	Valeur extraite
1	10	9,91
2	5,2	5,17
3	3,45	3,42
4	2,75	2,74
8	3,45	3,44
12	1,1	1,10
16	2,1	2,14

Les écarts sont de l'ordre de l'erreur de mesure sur la courbe.

Les résultats de Hermann ne sont pas encore définitifs en ce qui concerne les consonnes, mais, pour les voyelles, il se rallie complètement à la deuxième opinion de Helmholtz, c'est-à-dire qu'il admet que chaque voyelle est caractérisée par la superposition au son fondamental de sons de hauteur fixe et non d'harmoniques de rang déterminé. Une expérience fort simple confirme d'ailleurs cette manière de voir ; lorsqu'une voyelle est inscrite sur le phonographe, son timbre change complètement avec la vitesse de rotation de l'appareil.

M. Charpy projette des photographies microscopiques montrant la texture hétérogène des alliages métalliques. Ces photographies permettent de constater, en particulier, que les alliages eutectiques, ou alliages à point de fusion minimum, qui ont souvent été considérés comme des composés définis sont, en réalité, formés par la juxtaposition des métaux constituants sous forme de lamelles très fines, et présentent, par conséquent, une cons-

titution identique à celle des cryosels étudiés par M. Ponsot. Dans certains alliages on distingue, au milieu de la masse, des cristaux parfaitement nets de composés définis formés par les métaux alliés, en particulier les composés SbSn, $SbCu^2$, $SnCu^3$, etc.

Indépendamment de ces résultats relatifs à la constitution chimique des alliages, l'examen microscopique permet de caractériser le travail subi par un alliage de composition déterminée. Des photographies d'échantillons de laiton (67 de cuivre, 33 de zinc) montrent que la texture est tout à fait différente, suivant que le métal est brut de coulée, laminé ou recuit à des températures graduellement croissantes.

M. Gariel présente au nom de M. S. Leduc, professeur de physique à l'École de Médecine de Nantes, un travail sur l'emploi de la machine statique pour l'obtention de radiographies. M. Leduc a obtenu de bonnes épreuves, principalement à l'aide de la disposition suivante : la machine étant munie de ses condensateurs entre les armatures internes desquels éclatent les étincelles, le tube radiogène est intercalé entre les armatures externes ; d'autre part, à chacune de celles-ci est fixée une chaîne dont l'autre extrémité traîne sur le sol ou sur la table qui sert de support, de manière à intercaler une notable résistance. Cette dernière disposition empêche les décharges de se produire dans un sens quelconque à travers le tube.

SÉANCE DU 2 JUILLET 1897.

Présidence de M. René Benoît.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de de la séance du 18 juin est adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Lafarge (Raymond), à Paris.

M. Foveau de Courmelles adresse à M. le Président une lettre dans laquelle il confirme les résultats obtenus par M. Stéphane Leduc en ce qu concerne l'application de la machine statique à la radiographie.

Sur la résonance multiple, par M. Décombe. — Un excitateur électrique donné peut mettre en activité un résonateur de dimensions quelconques ; la longueur d'onde observée est alors variable avec le résonateur et ne semble dépendre que de cet appareil.

C'est à ce phénomène que MM. Sarasin et de la Rive, qui l'ont découvert, ont donné le nom de résonance multiple.

L'explication qu'ils en ont proposée consiste à considérer l'excitateur comme étant le siège d'une infinité de vibrations de périodes différentes formant une sorte de spectre continu.

Peu après MM. Poincaré et Bjerknes indiquèrent et développèrent une autre explication.

Ils admirent que chacun des deux appareils, excitateur, résonateur, est capable de donner une seule vibration, de période et d'amortissement bien déterminés.

L'amortissement de l'excitateur serait, dans le cas habituel, considérable par rapport à celui du résonateur. Les vibrations de ce dernier se continueraient donc longtemps après que celles de l'excitateur auraient cessé; rien d'étonnant alors que le phénomène interférentiel observé soit régi par le résonateur.

On peut se proposer de vérifier cette théorie en l'appliquant au cas exactement inverse. Si, en effet, c'est l'amortissement du résonateur qui est considérable par rapport à celui de l'excitateur, les vibrations de ce dernier persisteront après les premières; les interférences observées seront celles du mouvement vibratoire propre de l'excitateur.

Si donc, dans ce cas, on fait une série de mesures pour un même excitateur, avec des résonateurs différents, la longueur d'onde observée doit être trouvée indépendante du résonateur. Le décrément logarithmique étant donné par la formule

$$\pi R \sqrt{\frac{G}{L}};$$

il faut augmenter considérablement R pour le résonateur, le diminuer, au contraire, autant que possible, pour l'excitateur.

Pour atteindre le premier but, la self-induction des résonateurs était constituée par un fil de fer du diamètre de 0,1 de millimètre. Outre la résistivité très grande du fer, ses propriétés magnétiques contribuaient aussi, dans une large mesure, à l'accroissement de la résistance. Cela résulte de la formule connue de lord Rayleigh et a été vérifié expérimentalement par M. Saint-John et M. Trowbridge.

Quatre résonateurs furent employés, de même capacité, mais de self-inductions différentes. Le fil de fer dont il vient d'être parlé était replié en rectangle de dimensions variables.

Voici ces dimensions :

Résonateurs	Dimensions		
	cm.		cm.
I	60	sur	46
II	50		38,3
III	40		30,7
IV	30		23

L'excitateur circulaire était formé d'une tige de laiton du diamètre de 7 millimètres. Par un dispositif spécial, l'étincelle, qui constitue toujours la partie notable de la résistance, était supprimée.

Les longueurs d'ondes étaient obtenues par la méthode du pont, en mesurant, à l'aide d'un micromètre très sensible, la distance explosive au résonateur pour une série de positions équidistantes du pont. Une courbe était tracée d'où l'on déduisait la valeur de l'internœud.

Voici les résultats :

Résonateurs	λ
I	15,44
II	15,36
III	15,16
IV	14,80

On voit que λ est sensiblement constant, eu égard aux variations de la self-induction ; ce résultat confirme donc la théorie qu'il s'agissait de vérifier.

Étude sur les aciers-nickels.—Après avoir rappelé les travaux antérieurs de MM. J. Hopkinson, Henri et André Le Chatelier, Osmond, M. Ch.-Ed. Guillaume rend compte de ses recherches sur les aciers au nickel.

M. Benoît avait découvert, en 1895, une anomalie positive de dilatation des aciers de nickel dont le premier échantillon étudié (acier à 22 0/0 de nickel, faiblement chromé) était aussi dilatable que les laitons. M. Guillaume ayant à son tour découvert une anomalie négative, a fait l'étude complète de la dilatation des aciers au nickel entre 0 et 45 0/0 de nickel. Ces aciers ont été préparés et analysés dans les aciéries d'Imphy appartenant à la Société de Commentry-Fourchambault.

La dilatation des aciers, à peu près normale jusque vers 20 0/0 de nickel, augmente rapidement, passe par un maximum, redescend ensuite pour atteindre, vers 36 0/0 de nickel, le dixième de la dilatation du platine, puis remonte vers les valeurs normales.

Le module d'élasticité passe de même par un maximum et un minimum qui coïncident sensiblement avec les mêmes valeurs relatives de la dilatation.

Au point de vue du magnétisme, les aciers au nickel peuvent être classés en deux catégories. Ceux de 0 à 25 0/0 sont irréversibles, en ce sens qu'ils peuvent exister, à une même température sous deux états différents, suivant les températures antérieures. Tous perdent leur magnétisme entre le rouge sombre et le rouge cerise, et le reprennent à une température d'autant plus basse qu'ils contiennent plus de nickel.

A partir de 25 ou 26 0/0, les alliages sont réversibles. Ils prennent ou perdent leur susceptibilité magnétique graduellement aux mêmes températures suivant le sens de la variation. Le passage de l'état magnétique à l'état non magnétique est marqué par une augmentation rapide de la dilatation, et les alliages possèdent, en dessus et en dessous du passage, une dilatation qui peut différer dans une très forte proportion. Pour les alliages les moins dilatables, le passage a lieu non loin de 200°. Ce passage est sans action sensible sur la résistivité des alliages.

M. Guillaume rend visible la dilatation des nouveaux alliages au moyen

d'un appareil construit au Bureau international, et dans lequel les tiges, fixées à une extrémité, font rouler, par l'autre extrémité, suivant un procédé indiqué par M. Kapoustine, des aiguilles munies d'index.

La perte de magnétisme dans l'eau bouillante est rendue évidente à l'aide d'un appareil d'arrachement construit par M. Radiguet, et dans lequel la force de traction d'un électro-aimant est équilibrée par un ressort.

Les applications des nouveaux alliages à la construction des appareils de précision sont évidentes. Dans les systèmes compensés ils pourront être particulièrement utiles, à cause de la variation simultanée des coefficients des termes des deux premiers degrés dans la formule de dilatation. On peut, en effet, combiner deux alliages de telle sorte que les rapports des coefficients des deux termes soient les mêmes, et que la compensation thermique soit complète.

La variation des propriétés magnétiques permettra la construction de coupe-circuits et d'autres appareils dans lesquels on utilisera la variation du magnétisme avec la température pour produire des efforts variables.

L'auteur se propose de revenir, à une autre occasion, sur les variations permanentes de ces alliages, variations dont toutes les lois sont analogues à celles qui régissent le déplacement bien connu du zéro des thermomètres. Il exposera aussi plus tard ses recherches sur les propriétés des aciers irréversibles.

M. le Secrétaire général donne lecture d'un travail de M. Van Aubel, de Bruxelles, concernant la résistance électrique d'un acier au nickel fabriqué par M. Glover de Salford, et nommé par lui Réostène.

Cet alliage a une densité de 7,8991.

Sa résistivité à 0°,44 est de 77,07 microhms-centimètres.

Les coefficients de variation de résistance avec la température sont :

+ 0,00119.....	de	0°,44	à 14°,47
+ 0,00116.....		15°,6	57°
+ 0,00114.....		57°	74°,1
+ 0,00098.....		74°,1	100°,5

En revenant à 0°, on n'a aucun résidu appréciable. Cette constance de variation de résistance entre 0° et 74° ne se retrouve chez aucun alliage. Le Réostène pourra être avantageusement utilisé pour la mesure des températures entre 0° et 74°.

Sur un ampèremètre thermique à mercure. — M. Camichel donne quelques indications sur son ampèremètre thermique à mercure. Cet instrument se compose d'un tube en **U** rempli de mercure ; dans l'une des branches de ce tube plonge un thermomètre à mercure dont le réservoir a un diamètre très peu inférieur à celui du tube. On réalise ainsi, autour du réservoir thermométrique, une résistance qui, dans un des appareils étudiés (modèle destiné aux courants compris entre 0 et 20 ampères), était environ 1/5 d'ohm. On fait passer dans le mercure contenu dans le tube **U** le cou-

rant à mesurer, et l'on note l'élévation de température t indiquée par le thermomètre, au bout de 30 secondes. Si la température du mercure, au début de l'expérience, a une valeur toujours la même, si l'appareil est placé dans une enceinte à température fixe, un courant déterminé traversant l'appareil développe une quantité de chaleur Q constante, dont une fraction q, également constante, produit l'élévation de température du thermomètre, la différence $Q - q$ étant transmise au mercure du tube en U par conductibilité calorifique, par convection, et au milieu ambiant par rayonnement. Un même courant produit donc une élévation de température constante t du thermomètre.

Cette méthode permet donc de mesurer les intensités des courants.

M. Camichel étudie l'influence de la température ambiante: celle-ci variant de 15°, il est impossible de saisir de différence dans les indications de l'appareil. Cette particularité s'explique par le faible rayonnement de l'appareil et par la faible variation de la conductibilité thermique du mercure avec la température.

Cet ampèremètre ayant un coefficient de self-induction négligeable convient très bien à la mesure des courants alternatifs ; on le vérifie facilement en le comparant à un électrodynamomètre.

La variation de résistance intérieure de l'appareil destiné à mesurer les courants compris entre 0 et 20 ampères est 1/200e d'ohm environ; on la rend négligeable en plaçant l'appareil dans un circuit ayant une résistance minima de 5 ohms.

L'approximation des mesures atteint facilement le 1/200e.

M. Guillaume demande si de petites variations dans la position du thermomètre modifient sensiblement les indications de l'instrument.

M. Camichel répond que l'influence est très grande: l'indication du thermomètre dépend moins de la résistance intérieure de l'instrument que de la position du réservoir thermométrique par rapport aux points où le passage du courant développe de la chaleur.

SÉANCE DU 16 JUILLET 1897.

Présidence de M. René Benoit.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Bose (Jagadis Chunder), professeur de physique au Presidency College, à Calcutta (Indes).

M. le Secrétaire général annonce que M. Guébhard fait don à la Société d'un ouvrage manuscrit relié, grandeur in-12, intitulé : *Phisica scripta sub admodum R. P. Cambos philosophiæ professore, doctore agregato in collegio Squillano tolosano, anno Domini* 1751. *A Jacobo Josephoque Dartiguelongue.*

M. Guébhard adresse un complément à sa précédente note sur le *tachetage accidentel des clichés photographiques abandonnés dans un bain développateur de faible épaisseur.* — Les parties essentielles de cette note sont résumées ci-après :

1° Le phénomène peut être reproduit avec des liquides filtrés;

2° L'examen de près de 300 clichés fait ressortir avec évidence l'identité des lignes directrices du tachetage avec des lignes de flux;

3° Les auréoles observées autour de l'empreinte de certains objets apposés sur la plaque peuvent avoir des causes très diverses : *a*) effets de phosphorescence et de calorification qui jouent un rôle dans les observations faites autour de doigts humains; — *b*) auréoles dioptriques dues à la concentration suivant des lignes focales ou caustiques par les surfaces liquides ou solides, des rayons, même rouges, qu'on néglige d'éliminer en n'opérant pas à couvert; — *c*) auréoles mécaniques dues à des vagues du liquide; — *d*) auréoles chimiques ou de tension superficielle dues à un nettoyage insuffisant de la surface immergée; — *e*) auréoles osmotiques dues à une surface immergée non imperméable au liquide ; — *f*) enfin auréoles capillaires qui se produisent constamment et exclusivement dans les espaces rétrécis compris entre la plaque sensible et toute surface voisine convexe par rapport à elle.

M. Ponsot rend compte de ses recherches sur la mesure directe de la *pression osmotique des solutions étendues de sucre de canne.*

Il a pu préparer plusieurs vases à paroi semi-perméable de ferrocyanure de cuivre, et il indique comment il a pu réussir cette préparation.

La solution sucrée dont il veut connaître la pression osmotique est placée dans un vase, à paroi semi-perméable, plongé dans l'eau pure ; le bouchon fermant ce vase est traversé par un tube disposé verticalement et contenant de la solution jusqu'à une certaine hauteur. Le tout est placé dans un lieu à température à peu près invariable (au fond d'un puits de 18 mètres au Laboratoire de Recherches physiques de la Sorbonne, 11°,8). La vitesse de déplacement du sommet de la colonne liquide dans le tube ou vitesse osmotique est mesurée à différentes hauteurs. On déduit de ces mesures la position de vitesse nulle ou d'équilibre osmotique. La hauteur osmotique, corrigée, multipliée par la densité, donne la pression osmotique.

M. Ponsot a fait une détermination à la température de 0°,8 dans une glacière de la brasserie de MM. Dumesnil à Paris.

Résultats : La pression osmotique mesurée diffère de la pression théorique de quantités inférieures aux variations expérimentales, toujours plus petites que 1/40.

Le coefficient i de la relation de Van't Hoff est égal à 1 ou très voisin de 1 : d'où confirmation des résultats de M. Ponsot sur la cryoscopie des solutions de sucre.

L'hypothèse de la dissociation du sucre dans ses solutions étendues n'est donc pas appuyée par les résultats cryoscopiques et osmotiques.

M. Ponsot se propose d'étendre ses recherches à d'autres solutions. Il indique quelques résultats de son étude théorique de l'équilibre osmotique; il regrette que les documents fassent défaut pour l'application des relations qu'il a trouvées.

M. Ponsot pense que les mesures de la pression osmotique seront utiles pour servir de base à l'étude théorique des phénomènes de la dissolution; les mesures cryoscopiques et de tensions de vapeur sont insuffisantes pour cela, notamment à cause de leur précision limitée. D'ailleurs les résultats cryoscopiques sont très variables suivant les auteurs, de telle sorte qu'une hypothèse, celle d'Arrhénius par exemple, trouve des résultats qui l'appuient, tandis que d'autres lui sont absolument opposés.

M. Raveau expose les *nouvelles observations sur des propriétés des rayons X* de M. Röntgen. M. Röntgen a démontré que l'air exposé aux rayons X émet à son tour des rayons X; un écran au platinocyanure de baryum peut s'illuminer quand de l'air dont il n'est séparé par aucune lame métallique épaisse est traversé par des rayons X. Il reste à décider si les rayons qui émanent de l'air sont ou non de même nature que ceux qu'il a reçus.

Un exemple d'expériences sur les diverses circonstances qui modifient la nature des rayons émis par un tube a conduit M. Röntgen aux vues suivantes : 1° L'émission des rayons X par l'anode est un phénomène analogue à la fluorescence; 2° la nature des rayons émis dépend essentiellement de la forme du courant de décharge, le degré de vide, etc., n'ayant pour effet que de modifier cette forme; 3° les rayons X et les rayons cathodiques sont de même nature; les différences de transparence des métaux aux deux espèces de rayons diminuent à mesure qu'on utilise des rayons X de moindre pouvoir pénétrant et qu'on fait des expériences sur des lames plus minces.

Enfin M. Röntgen a vérifié que des tubes très résistants émettent des rayons X qui peuvent impressionner la rétine. Des tentatives de diffraction et des essais relatifs à l'influence que peut présenter une lame cristalline sur sa transparence n'ont donné que des résultats négatifs.

A l'appui de l'un des faits signalés dans le mémoire de Röntgen, M. Korda cite l'observation suivante:

Dans un tube focus muni à ses extrémités de deux cathodes concaves et, au milieu, d'une lame de platine inclinée formant anticathode, la fluorescence du verre de l'ampoule est à peu près uniforme, sauf dans les régions voisines du prolongement du plan de l'anticathode où se dessine une bande sombre d'*une certaine largeur*, entourant comme un anneau cette

anticathode. Ceci tendrait bien à prouver que la lame inclinée d'un tube focus se comporte comme une source de rayons X ayant une intensité à peu près constante dans toutes les directions, sauf au voisinage de l'émission rasante.

M. Korda cite également quelques expériences montrant que la production de rayons X dépend de la forme de la décharge, aussi bien que du degré de vide d'un tube. En particulier, en intercalant dans le circuit induit qui contient le tube une solution de continuité par laquelle le courant se ferme sous forme d'étincelles dans l'air, on voit apparaître la fluorescence du verre pour un degré de vide qui serait insuffisant avec le dispositif ordinairement employé.

M. Sagnac rappelle que les clichés radiographiques, obtenus avec une pose très longue à grande distance, dans ses essais de diffraction des rayons X, étaient voilés sur toute leur étendue. Si l'on rapproche ce fait des expériences de Röntgen d'après lesquelles l'air frappé par des rayons X devient, à son tour, une source de rayons, il est naturel d'attribuer le voile en question à l'action des rayons ainsi émis par l'air. Ces rayons secondaires ne doivent pas être identiques aux rayons X issus du tube de Crookes.

Sur un polariseur en spath de faible épaisseur, par M. Joubin. — Dans la plupart des cas le champ du nicol reste inutilisé pour la plus grande partie : il y aurait donc tout intérêt à construire un polariseur dont le champ soit juste suffisant pour le but que l'on se propose, puisque les dimensions et, par suite, le prix sont réduits en même temps. Le Foucault a réalisé un premier perfectionnement dans ce sens. On peut encore obtenir un champ moindre, quoique suffisant, et en même temps un autre avantage : l'incidence normale sur une face naturelle du spath. Si, en effet, on fait une coupe perpendiculaire à la section principale du cristal, dans l'angle aigu de cette section et à 38° 25′ de la face d'incidence, le rayon ordinaire correspondant à un rayon incident normal est seul réfléchi totalement sur la couche d'air comprise entre les deux moitiés du cristal, et l'on dispose d'un champ polarisé de 4° 30′ environ symétrique par rapport à la normale. Dans ces conditions et après avoir abattu les angles aigus par des plans perpendiculaires aux faces d'entrée et de sortie, l'épaisseur n'est plus que les 8/10 de la largeur de cette face, et cependant le champ est parfaitement suffisant pour la plupart des lunettes, polarimètres, saccharimètres et même pour le microscope polarisant, à condition de placer le polariseur immédiatement à l'entrée de l'appareil.

La construction de ce polariseur a été confiée à M. Jobin qui le présente à la Société.

M. Jobin montre comme conclusion de cette communication des applications de ce nouveau prisme dans un polarimètre et dans un appareil de projection des phénomènes des cristaux en lumière parallèle et convergente. Il effectue avec ce dernier appareil un certain nombre de projec-

tions de cristaux : spath-arragonite, spirales d'Airy, quartz perpendiculaire, etc.

Observations sur les rayons cathodiques, par M. F. Beaulard. — M. Colardeau donne lecture de l'extrait d'une note envoyée en mars à la Société, par M. F. Beaulard :

1° Avec le tube classique de Crookes montrant la pseudo-répulsion des rayons cathodiques, on peut constater une déviation des rayons quand on prend le tube à la main ; si *une seule* cathode fonctionne, l'unique rayon n'est pas sensible à l'approche de la main. On constate encore, en faisant glisser le doigt entre les deux rayons cathodiques et parallèlement à ceux-ci, qu'il se produit sur l'écran habituel une tache fluorescente qui suit le mouvement du doigt;

2° Avec un fil conducteur traversé par un courant, et approché du tube, parallèle à son axe, on met facilement en évidence les attractions ou répulsions électrodynamiques entre le courant et le rayon cathodique;

3° Les phénomènes du paragraphe 1° s'observent facilement : en mettant au sol une région (argentée) de l'ampoule ovoïde du tube Colardeau, on obtient vis-à-vis une tache verdâtre qui ne paraît pas centre d'émission de rayons X.

Le phénomène est le plus net quand la lame de platine fonctionne comme cathode, et quand on a légèrement chauffé le tube.

SÉANCE DU 5 NOVEMBRE 1897.

Présidence de M. H. Becquerel.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet est adopté.

Sur l'observation et l'interprétation cinématique des phénomènes découverts par le Dr Zeeman. — M. Cornu s'est proposé, en premier lieu, de répéter d'une manière plus nette et plus correcte les importantes expériences de Zeeman relatives à l'action d'un champ magnétique sur la nature de la lumière émise par une source, en second lieu de donner de ces phénomènes une interprétation purement cinématique et indépendante de la théorie électrochimique de Lorentz.

I. *Disposition des expériences.* — La source employée est un fragment d'amiante imbibée de NaCl et léchée par la flamme d'un chalumeau oxhydrique, ou une étincelle d'induction jaillissant entre deux électrodes métalliques ; elle est placée entre les pôles d'un électro-aimant de Faraday. L'appareil d'observation se compose : 1° d'une fente verticale; 2° d'un

réseau concave de Rowland ; 3° d'un oculaire ; 4° d'un prisme de Wollaston placé en arrière de l'oculaire et donnant deux plages, l'une *a*, polarisée perpendiculairement aux lignes spectrales, l'autre *b* parallèlement.

1° On observe perpendiculairement aux lignes de force : la plage *a* est alors polarisée parallèlement aux lignes de force, la plage *b* perpendiculairement. La raie observée se dédouble dans la plage *a*, s'amincit dans la plage *b*. Donc : un champ magnétique transforme une raie spectrale, observée perpendiculairement aux lignes de force ; en un triplet, les raies extrêmes étant polarisées parallèlement, la raie moyenne perpendiculairement aux lignes de force.

2° On observe dans la direction des lignes de force (par un trou cylindrique percé dans l'axe des bobines). L'appareil d'observation est modifié par l'introduction d'un mica quart d'onde en avant et à 45° du prisme de Wollaston. On observe alors que la raie primitive se brise en donnant dans chaque plage une raie, symétrique par rapport à la raie primitive. Cette observation prouve qu'une raie spectrale, observée dans la direction des lignes de force, se transforme en deux raies polarisées circulairement, l'une à droite, l'autre à gauche, et ayant des périodes l'une plus grande, l'autre plus petite que la raie primitive. Le sens de rotation dépend du sens des lignes de force.

En employant deux lames de mica fixées côte à côte et à sections principales rectangulaires, et en balançant ces deux lames, on peut rendre le phénomène très sensible, les deux raies s'échangeant l'une dans l'autre : le déplacement est *physiologiquement* doublé.

Dans un second dispositif M. Cornu emploie, comme analyseur, un simple nicol, le double champ étant alors produit par deux lames demi-onde ayant leurs axes, l'un parallèle aux lignes de force, et l'autre à 45° (observation perpendiculairement aux lignes de forces), ou par deux lames quart d'onde ayant leurs sections principales l'une à + 45°, l'autre à — 45° des raies. Le résultat est identique.

II. *Interprétation cinématique de phénomènes.* — 1° Dans le sens des lignes de force on peut interpréter le phénomène en disant que l'action d'un champ magnétique sur l'émission d'une radiation tend à décomposer les composantes rectilignes vibratoires susceptibles de se propager par onde suivant des vibrations circulaires parallèles au courant du solénoïde qu'on peut imaginer autour d'une ligne de force.

Les vibrations qui tournent dans le sens du courant du solénoïde sont accélérées, celles qui tournent en sens inverse sont retardées.

Dans le sens perpendiculaire aux lignes de force, cet énoncé montre que la composante parallèle aux lignes de force (onde polarisée perpendiculairement à cette direction) reste inaltérée : c'est la raie médiane du triplet ; quant aux raies extrêmes, leur explication est plus délicate. On peut admettre que c'est le *résidu* des deux vibrations circulaires reconnues plus haut, vues de tranche, et dont les composantes longitudinales se sont évanouies.

En terminant, M. Cornu insiste sur la différence essentielle entre ce

phénomène et celui de Faraday : dans celui-ci le champ magnétique agit sur une onde déjà formée ; dans le phénomène de Zeeman il agit sur une onde naissante : c'est le seul cas où il soit possible d'agir sur la *période* d'un mouvement lumineux. Quelques expériences, utilisant les appareils délicats décrits plus haut, n'ont pu déceler aucun changement de période dans les phénomènes de polarisation rotatoire magnétique présentés par la liqueur de Thoulet.

M. Broca fait part à la Société des expériences qu'il a faites pour vérifier avec précision l'absence du phénomène de changement de période, quand un rayon lumineux traverse seulement le champ magnétique sans être produit dans ce champ. Un raisonnement simple montre que le changement de période doit dépendre non de la rotation totale, mais de la rotation spécifique de la substance. Une première série d'expériences faites avec la liqueur de Thoulet et un réseau de Rowland sous l'angle de diffraction rasante, a donné des résultats absolument négatifs, malgré la dispersion énorme ainsi obtenue. Les expériences ont été reprises avec du fer transparent obtenu par voie électrolytique sur verre platiné. La rotation spécifique est énorme dans ce cas, environ 30 000 fois celle de l'eau, les résultats négatifs ont montré que, si une partie de la rotation est due à un changement de période, elle est moindre que $\frac{1}{4\,000}$ de la rotation totale.

M. E. Ducretet présente une bobine de Ruhmkorff (transformateur) et un interrupteur à mercure pour ces fortes bobines d'induction. Il réalise quelques expériences de fluoroscopie avec l'*entoscope*.

L'induit de la bobine d'induction est sectionné en nombreux cloisonnements, ainsi qu'il convient de le faire pour les fortes bobines, et il est entièrement renfermé dans une boîte remplie de mélange isolant : paraffine et résine.

Ce modèle est absolument transportable, et sa disposition évite toute fuite d'étincelles aux extrémités de l'inducteur. Cette bobine convient à la radiographie et à la fluoroscopie avec les tubes à vide les plus puissants. Cette bobine donne $26^{cm},5$ de longueur d'étincelle avec 7 accumulateurs et 30 centimètres avec 10 accumulateurs. Cette disposition s'étend à toutes les fortes bobines.

M. Ducretet démontre, ainsi qu'on le sait, que les fortes bobines de Ruhmkorff ne peuvent fonctionner pratiquement avec les interrupteurs solides, à contact de platine, et qu'il faut employer ceux à mercure. Le *Foucault* convient, mais il est lent, et la forme actuelle de son godet à mercure ne permet pas de l'employer pour les expériences de longue durée ; le mercure et l'alcool sont projetés au dehors du godet, et l'alcool s'enflamme.

La forme donnée à ce godet, par M. Ducretet, évite ces graves inconvénients. La partie étroite reçoit le mercure et la partie large reçoit l'alcool.

La tige interruptrice, actionnée par un petit moteur électrique, a un mouvement parfaitement rectiligne ; elle peut avoir des variations de vitesse dans des limites très étendues au moyen d'un rhéostat. Pour la fluoroscopie, on évite le scintillement sur l'écran fluorescent en donnant une certaine vitesse à l'interrupteur. Il peut servir aux expériences de Tesla sur les courants de grande fréquence.

C'est en avril 1896 (notice d'avril-mai 1896) que M. Ducretet a proposé (en même temps qu'Edison) l'emploi de *boîtes obscures*, avec œilleton, ayant un écran fluorescent fixé sur le fond dirigé vers le tube à vide de Crookes-Röntgen. Elles permettaient ainsi, en *plein jour*, l'observation directe de l'intérieur des corps opaques par les rayons X du Prof.-Dr Röntgen. M. Ducretet met en expérience une de ces boîtes obscures qu'il appelle *entoscope*.

Le support double qui reçoit cet écran fluorescent est d'un emploi des plus pratiques.

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1898.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 novembre est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DE HEEN, Membre de l'Académie Royale de Belgique, Directeur de l'Institut Physique de Liège (Belgique).

VEILLON (Henri), Docteur en Philosophie, Privat docent à l'Université de Bâle (Suisse).

M. A. LEDUC a déterminé avec le plus de précision possible (1/10000 à 2/10000) les densités à 0° et 76cm des gaz susceptibles d'être obtenus à l'état de pureté. Connaissant leurs poids moléculaires d'après les expériences de Stas et les siennes propres, il calcule leurs volumes moléculaires à 0° et 76cm par rapport à un gaz fictif qui suivrait la loi de Mariotte dans les limites de ses applications.

Ayant étudié la compressibilité de ces gaz à 0°, il ramène les volumes à la pression π^{cm} (π étant la pression critique de chacun d'eux en atmosphères.

Il trouve que l'expression $y = (1 - v_\pi)\,10^4$ est bien représentée par :

$$(1) \qquad y = m\,(\Theta - 93)^2 - n\,(\Theta - 93)^3 + p\,(\Theta - 93)^4,$$

Θ désignant la température critique absolue de chacun. — Il y a exception pour AzH^3 et H^2S.

Représentant l'écart de la loi de Mariotte par :

$$(2) \qquad E = \frac{p_0 v_0}{pv} - 1 = a(p - p_0) + b(p - p_0)^2,$$

M. Leduc montre que, si les volumes moléculaires des divers gaz dans des états correspondants sont égaux, on doit avoir à des températures correspondantes :

$$\mathcal{A}\pi = C^{te}$$

et

$$b\pi^2 = C^{te},$$

$\mathcal{A}$ étant le coefficient vrai $-\frac{1}{pv} \cdot \frac{d(pv)}{dp}$ de la formule (2) pour $p = \pi^{cm}$, et qu'à la même température $\mathcal{A}\pi$ et $b\pi^2$ croissent d'une manière continue avec Θ.

Des expériences très précises, en collaboration avec M. Sacerdote, ont montré qu'à 16° :

$$(3) \quad z = \mathcal{A}\pi.10^4 = m'(\Theta - 98)^2 - n'(\Theta - 98)^3 + p'(\Theta - 98)^4$$

pour tous les gaz, sauf pour AzH^3 et CH^3Cl qui sont plus compressibles, et pour H^2S et PH^3 qui le sont moins.

M. Leduc passe de là à une température quelconque T. Posant $\chi = \frac{\Theta}{T}$, il obtient pour les gaz normaux, c'est-à-dire qui obéissent aux lois (1) et (3) :

$$(4) \qquad \begin{cases} y = 72\chi^4 - 130\chi^3 + 173.\chi^2 - 83.\chi + 12,3 \\ z = 101,4\chi^4 - 220\chi^3 + 266\chi^2 - 119.\chi + 16,9 \end{cases}$$

$u = b\pi^2.10^4. = 20\chi(\chi - 1)$ pour $\chi > 1$ et négligeable pour $\chi < 1$.

Pour les gaz plus compressibles (CH^4, C^2H^6, AzH^3, CH^3Cl) y, z et u doivent être multipliés par 1,16 ; pour les moins compressibles il faut multiplier y par 0,93, et z et u par 0,84.

Le volume moléculaire d'un gaz à T° et p^{cm} est alors, si l'on pose $e = \frac{p}{\pi}$:

$$(5) \qquad v = 1 - [y + (e - 1)z + (e - 1)^2 u]10^{-4}.$$

M. Leduc applique cette formule au calcul des densités normales des 23 gaz dont les données critiques ont été déterminées. C^2H^2 et PH^3 lui fournissent des vérifications remarquables. Puis il calcule leurs coefficients de dilatation vrais à 0°, et moyens entre 0° et 100°, sous la pression constante 76^{cm} ou initiale 76^{cm}, et quelques-uns relatifs aux gaz étudiés

par M. P. Chappuis sous la pression de 1 mètre de mercure, enfin plusieurs formules de dilatation.

Les résultats s'accordent généralement bien avec ceux de Regnault, mais mieux encore avec ceux de M. P. Chappuis, dont ils ne diffèrent que de 1 à 2/1000 tout au plus, les écarts pouvant d'ailleurs être attribués à la différence des échelles thermométriques.

M. Leduc calcule encore la température à laquelle chaque gaz suit la loi de Mariotte et trouve par exemple : pour Az, 100°; pour CO^2, 620°; pour SO^2, 985°.

M. Amagat fait remarquer que les résultats auxquels vient d'arriver M. Leduc ne peuvent servir à grouper les corps suivant entre eux la loi des états correspondants que dans des limites de température et de pression voisines de celles auxquelles se rapportent ces résultats; c'est ainsi que, d'après M. Amagat, l'azote et l'oxygène, considérés dans des limites étendues de température et de pression, ne doivent pas rentrer dans le même groupe; cela résulte de considérations relatives à l'application de la loi des états correspondants aux pressions intérieures, et que M. Amagat n'a pas encore publiées. Quant aux températures pour lesquelles, au voisinage de la pression atmosphérique, divers gaz suivent sensiblement la loi de Mariotte, les résultats de M. Leduc sont d'accord avec les expériences de M. Amagat. Enfin M. Amagat rappelle que le désaccord entre ces résultats et celui de Regnault, relatif à l'acide carbonique à 100°, est dû, non à une erreur expérimentale de l'illustre physicien, mais simplement à une erreur matérielle de calcul, ainsi que l'a montré il y a longtemps M. Blaserna. Cette observation, du reste, ne contredit en rien l'exactitude des calculs de M. Leduc relatifs aux densités et aux dilatations, dans les limites de température et de pression auxquelles ils se rapportent.

M. Leduc répond que le groupement fondé sur la compressibilité, très sûr quand il s'agit des gaz faciles à liquéfier, dont le $\mathcal{A}$ varie de 80 à 300.10^{-6} et au delà, est, au contraire, très incertain pour les anciens gaz permanents dont le $\mathcal{A}$ ne dépasse pas 10 unités du même ordre (3 pour Az et 8 pour O à 16°) et n'est déterminé qu'à 1/2 unité près tout au plus. Mais il n'en résulte en effet aucune erreur appréciable sur les densités et les coefficients de dilatation.

M. E. Ducretet présente un ensemble d'appareils construits par lui. Ces appareils permettent de réaliser les expériences de Hertz sur les ondulations électriques ; il montre qu'il est possible, sans rien changer aux appareils connus et déjà appliqués à cet effet, de produire des ondes électriques continues ou intermittentes, de les transmettre à distance, de les recevoir et de les enregistrer.

Le transmetteur est un oscillateur de Hertz à deux sphères, elles sont immergées dans un liquide isolant, ainsi que le fait le professeur Righi pour ses grands oscillateurs. Cette immersion dans un liquide isolant est

due à MM. Sarasin et de la Rive, elle assure une grande constance dans la production des décharges oscillantes, et les ondes électriques produites sont plus énergiques.

Le modèle que présente M. Ducretet est de petites dimensions et destiné aux expériences de cours. La faible capacité des sphères suffit pour rendre la décharge oscillante et obtenir des longueurs d'ondes très courtes.

Cet oscillateur est actionné par une petite bobine de Ruhmkorff disposée, comme le fait M. Bose, dans une boîte garnie de parois métalliques et avec clef de contact pour obtenir des décharges brèves ou longues et, par suite, des ondes intermittentes.

Le résonateur de Hertz, à étincelles, est remplacé par un tube à limaille de M. Branly. La limaille, renfermée dans un tube et comprise entre deux conducteurs formant un circuit avec une pile et un galvanomètre, offre une très grande résistance au passage du courant ; elle devient très conductrice lorsqu'elle est excitée par une onde électrique. Cette conductibilité disparaît par un choc pour réapparaître quand une nouvelle onde vient frapper le tube. Cette sensibilité est extrême et elle se manifeste à distance. M. Branly, à qui l'on doit cette découverte, donne le nom de tubes *radio-conducteurs* à ses récepteurs. Ils sont l'organe principal, indispensable, des appareils destinés à la réception, à distance, des ondes électriques.

M. Ducretet décrit l'appareil que M. Popoff a fait construire en 1895 et employé à Saint-Pétersbourg pour recevoir et enregistrer les ondes électriques au fur et à mesure de leur présence. Le récepteur est encore un tube à limaille de Branly, il est mis en circuit avec une pile et un relais mis en mouvement dès que le tube Branly est frappé par une onde électrique émise à distance.

Le relais ferme un circuit qui comprend une sonnerie dont le marteau frappe le tube sensible pour le ramener automatiquement à sa résistance initiale dès que l'onde électrique a cessé d'agir. Le circuit, outre la sonnerie électrique, comprend un enregistreur qui conserve la trace de la réception de ces ondes.

Cet ensemble d'appareils, tels qu'ils résultent de travaux connus, permet donc la production, la transmission, la réception et l'enregistrement des ondes électriques : qu'elles soient produites par les décharges atmosphériques ou par un oscillateur, il suffit alors d'approprier sa puissance à la distance à franchir.

M. Ducretet a modifié la disposition des circuits : il fait usage du relais galvanométrique sensible, à usages télégraphiques, qu'il a construit en collaboration avec MM. Maréchal et Rigollot ; il est muni d'un amortisseur et d'une résistance additionnelle pour supprimer l'étincelle de rupture, ainsi qu'ils l'ont décrite. Leur enregistreur Morse forme un 2e relais.

Sans rien changer à ce qui a été décrit, M. Ducretet montre que la transmission et la réception de ces ondes lumineuses permet d'enregistrer les signaux ainsi lancés dans l'espace. M. Ducretet donne le nom de *télégraphie Hertzienne* à cette application.

M. Marconi ignorait sans doute ces travaux en employant les éléments connus qui caractérisent la transmission sans fil qu'il réalise avec eux.

M. Ducretet indique comment doivent être disposés les appareils, suivant M. Bose, pour réaliser toutes les expériences de Hertz montrant l'analogie entre les ondes électriques et les ondes lumineuses : « réflexion, réfraction, diffraction, polarisation ». L'appareil est alors de petites dimensions ; le récepteur, fixé sur l'alidade d'un goniomètre, est celui de M. Branly, ou celui que M. Bose a proposé et qui dérive du *radio-conducteur* à limaille. Tous les organes du transmetteur (ainsi que la bobine d'induction) doivent être parfaitement renfermés dans une boîte métallique. Une lentille en ébonite concentre les rayons électriques.

M. Ducretet termine en remerciant son ingénieur M. Roger, du concours qu'il lui a prêté pour la réalisation de ces expériences.

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1897.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Joly*, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, membre fondateur de la Société, dont les importants travaux sont bien connus de tous les chimistes et les physiciens.

Pouvoir rotatoire du quartz dans l'infra-rouge ; par M. DONGIER. — Les déterminations antérieures du pouvoir rotatoire du quartz dans l'infra-rouge étant contradictoires, M. Dongier a repris ces mesures par un procédé différent.

Avant d'avoir accès sur la fente d'une pile thermoélectrique différentielle, la chaleur émise par le charbon positif d'un arc électrique traverse successivement un collimateur à fente réglé pour l'infini, un prisme de spath qui la polarise et la dévie, puis normalement à leurs faces un quartz épais et un analyseur biréfringent, donnant deux faisceaux auxquels correspondent deux spectres juxtaposés. Le polariseur et l'analyseur ayant leurs sections principales parallèles ou croisées, on détermine, à partir de l'extrême infra-rouge, les radiations λ_1, λ_2, ..., λ_n, qui correspondent à des déviations nulles du galvanomètre et qui subissent des rotations égales à

$$\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}+\frac{\pi}{2}, \quad \ldots \quad \frac{\pi}{4}+(n-1)\frac{\pi}{2}.$$

Dans ce procédé la rotation du plan de polarisation est *rigoureusement*

déterminée; l'erreur expérimentale porte seulement sur la mesure de la longueur d'onde; de plus, il est possible, afin d'éviter les différences d'absorption et les imperfections optiques des surfaces, de faire traverser au faisceau calorifique toujours les mêmes portions de ces surfaces.

Dans la méthode de Desains, que MM. Carvallo et Moreau ont appliquée, l'erreur expérimentale porte à la fois sur la rotation du plan de polarisation et sur la mesure de la longueur d'onde ; de plus, le mouvement qu'on est obligé de faire subir au polariseur ou à l'analyseur dévie le faisceau lumineux.

Les appareils utilisés sont à peu près les mêmes que ceux dont M. Carvallo s'est servi pour l'étude de la dispersion de la fluorine.

Par un réglage systématique on obtient le parallélisme de la fente, de l'arête du prisme et de la section principale de l'analyseur avec l'axe de rotation de la plate-forme ; l'arête du prisme qui sert d'origine à la vibration incidente est ainsi très exactement repérée par rapport à la section principale de l'analyseur, dont les deux images en lumière monochromatique se prolongent exactement.

Les mesures ont été faites dans des conditions où le dichroïsme du spath n'intervient pas [1], jusqu'à $1^{\mu},82$ dans le spectre ordinaire du spath avec un quartz de $60^{mm},755$ d'épaisseur, jusqu'à $2^{\mu},4$ dans le spectre extraordinaire avec un quartz de $27^{mm},049$ d'épaisseur. Ces échantillons très purs ont été taillés par M. Jobin.

Ces conditions et l'égalité des absorptions dans chacun des spectres sont satisfaites, si les courbes qui joignent les points maxima et les points minima de la courbe des indications galvanométriques en fonction de la déviation goniométrique sont exactement symétriques l'une de l'autre par rapport à l'axe des x. Cette considération, qui guide le choix entre les bonnes expériences et les moins bonnes, a donné un ensemble de résultats qui concordent les uns avec les autres à moins de 5 unités de cinquième décimale pour la valeur de l'indice dans le spectre ordinaire et 1 unité de la quatrième décimale dans le spectre extraordinaire. Les longueurs d'onde correspondantes ont été calculées à l'aide des nombres de M. Carvallo sur la dispersion du spath.

La courbe des valeurs du pouvoir rotatoire en fonction de la longueur d'onde est parallèle à celle de M. Carvallo, dont elle diffère de quantités de l'ordre des erreurs expérimentales. Les résultats de M. Moreau s'en écartent de quantités supérieures aux erreurs annoncées. M. Dongier croit pouvoir expliquer ces différences par l'existence de bandes d'absorption dans l'infra-rouge solaire qu'a employé M. Moreau et par le déplacement que fait subir au spectre la rotation du nicol analyseur disposé entre la fente et la lentille du collimateur.

M. Carvallo remercie M. Dongier d'avoir remis les choses au point par une étude consciencieuse. Ses résultats doivent être acceptés en toute

---

(1) Merrit, *Physical Review*, vol. II, p. 424; 1895.

confiance. Le petit écart qui existe entre ses nombres et ceux de M. Carvallo pourrait, à cause de sa petitesse, être à la rigueur imputé aux erreurs expérimentales. Cependant sa régularité exigerait une erreur systématique. Or une discussion, reprise en commun, n'a pu la faire découvrir. Peut-être y a-t-il une différence entre les deux quartz observés ?

Quant à la formule indiquée par M. Dongier : $\rho = \frac{An^2 - B}{\lambda^2} + \frac{c}{(\lambda - 3{,}2)^2}$, contenant deux coefficients nouveaux, elle devait facilement représenter le faible écart qui existe entre ses expériences et la formule de M. Carvallo : $\rho\lambda^2 = An^2 - B$. Cependant elle ne semble pas représenter la vérité ; elle donne un pouvoir rotatoire infini pour $\lambda = 3^{\mu},2$, ce qui est bien peu vraisemblable. Aucune théorie ne paraît d'ailleurs pouvoir justifier le terme de M. Dongier. Il suffirait de modifier légèrement, et dans un sens rationnel, les équations de Helmholz qui ont servi de point de départ à M. Carvallo, pour obtenir la formule :

$$\rho\lambda^2 = An^2 - B + C\lambda^2 \begin{cases} C = 0{,}240 \text{ (Dongier)} \\ C = 0{,}125 \text{ (Carvallo).} \end{cases}$$

On obtient notamment cette formule, en admettant que le quartz contient, outre la molécule rotatoire, une autre molécule, une *impureté* qui ne jouirait pas de la même propriété. La perturbation $C\lambda^2$ serait ainsi, comme l'absorption de la lumière dans le quartz enfumé, variable avec l'échantillon. La question demande une nouvelle étude dans ce sens. Quoi qu'il en soit, il est remarquable que l'accord entre l'observation et la formule de M. Carvallo : $\rho\lambda^2 = An^2 - B$, cesse en même temps que l'accord entre les divers observateurs.

M. Carvallo s'occupe ensuite de la *dispersion rotatoire magnétique*. Il a comparé à la formule proposée par M. Becquerel :

$$\rho = -k\lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

les nombres ρ observés par M. Joubin (1888) et les nombres $\frac{dn}{d\lambda}$ déduits de la formule de dispersion calculée par lui-même (1889). Voici le résultat de la comparaison, dans le spectre visible,

	1	2	4	5	6	7
λ	0,6437	0,5377	0,5084	0,4799	0,4677	0,4415
$\frac{\rho}{\lambda \frac{dn}{d\lambda}}$	304	301	295	297	294	293

L'accord semble assez satisfaisant, quoique incomplet. La formule de dispersion ne convient pas à l'extrême ultra-violet ; c'est une grosse difficulté d'avoir de bonnes valeurs de $\frac{dn}{d\lambda}$. Voici le second procédé que

M. Carvallo a suivi pour comparer les observations de M. Joubin à la formule de M. Becquerel.

En intégrant de λ_0 à λ_1 l'équation :

$$\rho \frac{d\lambda}{\lambda} = -K dn,$$

on obtient :

$$\int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \rho d (\log \lambda) = - K (n_1 - n_0).$$

Le second membre résulte directement de l'observation de n. Pour calculer le premier membre, on construit la courbe ρ = fonct. (log λ), d'après les observations, et on mesure l'aire comprise entre λ_0 et λ_1. Les intervalles doivent être choisis de façon à rendre comparables les erreurs relatives qui affectent les deux membres, de par l'incertitude des observations de n et de ρ. Voici les résultats trouvés :

Raies du cadmium	1				18	24
$\frac{\int \rho d (\log \lambda)}{\Delta n}$	297	294	299	299	349	

Le dernier nombre s'écarte beaucoup des autres, mais les indices ultraviolets de M. Joubin sont visiblement mauvais, notamment celui de Cd_{24}.

La conclusion me paraît être que la loi de M. Becquerel est, sinon rigoureuse, du moins dans la vérité.

De cette loi et des formules de dispersion on déduit un minimum du pouvoir rotatoire magnétique, pour le sel gemme, le spath et le quartz respectivement aux longueurs d'ondes $2^{\mu},15$; $1^{\mu},12$; $1^{\mu},0$. Cette conséquence, accessible à l'expérience, paraît avoir un réel intérêt.

M. Becquerel pense qu'on pourrait peut-être attribuer à un dichroïsme du quartz les divergences signalées.

M. Carvallo répond qu'un tel dichroïsme existe en effet, mais bien au-delà des radiations employées.

M. Cornu demande quelle est l'origine des quartz et sur quel degré de pureté on peut compter avec eux.

M. Dongier répond que les quartz proviennent d'un même échantillon de grandes dimensions qui appartenait au Laboratoire d'Enseignement physique, à la Sorbonne. Ce cristal ayant été taillé sur une large surface, on en a fait l'étude avec le Noremberg de M. Jobin en lumière blanche et parallèle ; les régions où l'extinction était complète sans pointements colorés et sans franges noires irisées sur les bords ont seules été utilisées.

M. Cornu conseille d'éclairer le Noremberg avec la lumière jaune ; ce qui permet de mettre plus facilement en évidence les voiles nuageux d'un échantillon de quartz.

M. Cornu signale les imperfections du baume de Canada employé pour assembler les prismes et recommande de lui substituer la glycérine.

Sur les trompes à mercure ; par M. Chabaud. — M. Chabaud présente deux nouveaux modèles de trompes à mercure. L'un de ces modèles a été étudié par lui en vue de la construction des tubes à analyse spectrale. Il expose les deux modes qu'on peut employer pour faire des tubes de ce genre, l'un lorsqu'on dispose d'un volume de gaz assez considérable, l'autre lorsqu'on n'a à sa disposition qu'un volume de gaz très restreint.

Le premier modèle que présente M. Chabaud s'applique à ce dernier cas, il ne porte aucun robinet, les chutes de la trompe sont commandées par deux purgeurs dont l'un fonctionne sous le vide. L'appareil est construit de telle façon qu'il ne peut lui arriver aucun accident, même si, le tube étant monté sur l'appareil, une rupture amenant l'air à rentrer brusquement dans la trompe, M. Chabaud brise avec intention l'extrémité fermée du tube dans lequel il a fait le vide pour démontrer ce qui est avancé plus haut.

Le second modèle se compose d'une pompe à mercure sans robinet et d'une trompe à deux chutes réunies sur un même bâti. M. Chabaud n'a laissé subsister dans le modèle que les éléments indispensables pour le bon fonctionnement de son appareil ; les deux chutes sont du système Villard ; un purgeur commun à la pompe et à la trompe met le mercure à l'abri des souillures pouvant venir du caoutchouc. La trompe à deux chutes est elle-même commandée par un nouveau purgeur fonctionnant sous le vide.

Cet appareil est, comme le précédent, à l'abri d'accidents provenant d'une rentrée d'air subite dans l'appareil mis en expérience sur la trompe. Il pousse le vide à ses dernières limites, tout étant d'une très grande simplicité.

M. Villard indique sur quel principe repose le fonctionnement de la chute qu'il emploie : le mercure s'écoule par un simple ajutage dans une chambre surmontant le tube de descente de la trompe ; mais, pour qu'il soit possible d'alimenter simultanément plusieurs chutes, le mercure arrive aux ajutages par des tubes capillaires. La force vive de la colonne d'alimentation de chaque chute peut être ainsi accrue dans une forte proportion : la résistance capillaire opposée, par l'ajutage, à l'écoulement du mercure, peut être ainsi vaincue par une sorte d'extra-courant hydrodynamique se produisant lors de la chute de chaque goutte.

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1897.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BÉNARD, agrégé, Préparateur de Physique au Collège de France.
BOURNIQUE, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly.
RICART (Dr E.), Chirurgien de l'Hôpital à Agen.

M. LE PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. *Roux*, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts annonçant que le Congrès des Sociétés savantes sera ouvert à la Sorbonne, le mardi 12 avril prochain, à deux heures précises. Ses travaux se poursuivront durant les journées du mercredi 13, jeudi 14 et vendredi 15 avril.

Le samedi 16 avril, M. le Ministre présidera la séance générale de clôture dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne.

Sur la transformation des rayons X par les métaux, par M. G. SAGNAC. — La surface d'un métal frappée par les rayons X ne les réfléchit pas sensiblement, quelle que soit la perfection du poli (mercure), et si grande que soit l'incidence (jusqu'à 75°). Mais la couche superficielle du métal, dans une épaisseur comparable au centième de millimètre, est le siège d'une transformation des rayons X incidents.

Les *rayons secondaires* ainsi produits impressionnent les plaques photographiques, excitent la fluorescence des écrans aux platinocyanures, déchargent complètement les corps électrisés. Leur propagation se fait rectilignement sans diffraction, ni réfraction sensibles. En transmettant les rayons secondaires, les différents corps (par exemple : les métaux, la paraffine, le papier, l'air lui-même) les absorbent inégalement suivant la nature du métal qui les a émis et bien plus énergiquement que les rayons X. Les rayons secondaires ne sont pas formés par une portion du faisceau incident des rayons X; ce sont de *nouveaux rayons;* en effet, en filtrant les rayons X incidents à travers une feuille d'aluminium de $\frac{1}{5}$ de millimètre d'épaisseur, par exemple, on n'affaiblit pas considérablement l'émission des rayons secondaires ; mais on la supprime en grande partie,

même si la feuille d'aluminium est employée à filtrer les rayons secondaires.

Quand les rayons X frappent un métal électrisé, la décharge qu'ils provoquent est due, pour une part, variable avec la nature du métal, aux rayons secondaires que le métal émet et qui paraissent provoquer dans le gaz ambiant une certaine conductibilité électrique, comme le font les rayons X eux-mêmes. Cet *effet secondaire*, dû aux rayons secondaires du métal, s'exerce à distance ; l'action propre du métal n'est donc pas localisée sur la surface du conducteur.

L'hypothèse, faite par M. J. Perrin d'un phénomène purement localisé à la surface du conducteur à la manière d'une différence de potentiel par contact explique suffisamment les expériences de M. J. Perrin, mais n'explique pas celles de M. Sagnac.

L'aluminium, qui absorbe et diffuse peu les rayons X, absorbe et diffuse énergiquement les rayons secondaires, en donnant des *rayons tertiaires* encore bien plus difficilement transmis par l'aluminium.

Les rayons *secondaires* ou *tertiaires* obtenus par une transformation ou par deux transformations successives des rayons X semblent intermédiaires entre les rayons X actuels et les rayons de Lénard. D'autre part, si l'on compare les rayons X à des rayons ultra-violets extrêmes, les nouveaux rayons X, fournis par les métaux, doivent être placés en-deçà des rayons X connus (et assez près des rayons produits par les tubes de Crookes à vide peu poussé), de même que les rayons émis par un corps fluorescent se placent en-deçà des rayons de plus courte longueur d'onde dont ils sont la transformation.

M. Jean Perrin fait observer que, parmi les belles expériences de M. Sagnac, celles qui sont relatives au rôle du métal dans la décharge ne sont pas contradictoires avec les siennes.

Il rappelle qu'il a démontré que l'action du métal est principalement localisée dans une couche mince attenant au métal et dont l'épaisseur est de l'ordre du millimètre. L'hypothèse qu'il avait proposée pour expliquer ces faits ne permettait d'ailleurs pas de prévoir ceux qu'a observés M. Sagnac. Au contraire, quelle que soit la minceur de la couche active, on pourra toujours expliquer son rôle par l'hypothèse de rayons secondaires très absorbables et, par là même, très actifs.

M. Cornu dit qu'en se rapportant aux idées exprimées par Stokes dans une conférence, il n'y aurait peut-être pas lieu de chercher la place à assigner aux rayons X dans la série des radiations. — Ces rayons pourraient en effet être constitués par des ébranlements uniques de l'éther, c'est-à-dire par une succession d'ondulations simples, et ne posséderaient par suite aucune des propriétés liées à la périodicité.

Étude des voyelles par la photographie des flammes manométriques, par M. le Dr Marage. — La méthode employée est très simple : une bande de papier sensible passait, d'un mouvement uniforme ($1^m,50$ à la seconde),

devant un objectif photographique, et recevait l'image négative de la flamme d'acétylène vibrant, au moyen d'une capsule manométrique, sous l'influence de la parole; une deuxième flamme, vibrant au 1/54 de seconde, était photographiée en même temps, et servait de chronomètre.

Sept voyelles : I, U, OU; É, EU, O; A, ont été étudiées par M. Marage. Les résultats obtenus graphiquement, et que, par conséquent, tout le monde peut contrôler, sont les suivants :

1° Il faut distinguer les voyelles parlées et les voyelles chantées; il existe entre ces deux classes de voyelles des différences très grandes : les premières sont formées par les cavités bucco-naso-pharyngiennes et accessoirement par les cordes vocales; dans la formation des voyelles chantées, les cordes vocales ont une influence prépondérante.

2° *Chaque voyelle parlée* est toujours caractérisée par un même groupe de flammes, et l'on a les voyelles à une flamme : I, U, OU; à deux flammes : É, EU, O; à trois flammes : A.

```
I U OU  .....  (Une flamme.)
| | |
É EU O  .....  (Deux flammes.)
 \ : /
  A     .....  (Trois flammes.)
```

Cette classification correspond à celles de Grassmann, de Helmholtz, et aux tracés obtenus par L. Hermann.

3° En parlant chaque voyelle devant la capsule, on obtient un certain nombre de flammes, chacune correspond à une vibration double; on peut donc compter leur nombre, ce qui donne la *vocable* de chaque voyelle. La vocable est fixe pour chaque voyelle et pour chaque expérimentateur, si la façon de prononcer reste la même ; elle change dans le cas contraire.

Chaque voyelle est donc caractérisée plus par son tracé, qui ne change pas et qui lui est propre, que par sa vocable, qui varie entre certaines limites ; si jusqu'ici on a accordé une si grande importance à la vocable, c'est que les expérimentateurs se servaient surtout de l'oreille comme moyen d'observation.

4° On peut, en combinant la voyelle A avec I, U, OU, obtenir les tracés caractéristiques des voyelles à deux flammes É, EU, O; il n'y aurait donc que trois voyelles fondamentales : I, U, OU avec une flamme; A avec trois flammes; pour les autres on a :

$$\begin{aligned} A + (-\,I) &= É \\ A + (-\,O) &= EU \\ A + (-\,OU) &= O \end{aligned}$$

Ces équations sont également vraies quand on remplace les voyelles par leurs vocables; cette expérience vérifie la théorie de Grassmann. On pourrait expliquer ainsi pourquoi les paroles sont mal entendues dans les

chœurs : deux voyelles, en se superposant, pouvant donner naissance à une troisième.

5° Les *voyelles chantées* n'ont aucune ressemblance avec les voyelles parlées; *dans la voix d'homme*, les voyelles passent constamment de l'une à l'autre sans que l'oreille puisse noter cette transformation; c'est le tracé seul qui l'indique. — *Dans la voix de femme*, la flamme caractéristique, et par conséquent la vocable, disparaît et il n'y a aucune différence entre les vibrations d'un diapason et celles de la voix; toutes les flammes sont égales entre elles et également distantes : ceci s'explique par ce fait que ce sont les cordes vocales qui chantent.

6° On comprend alors pourquoi on a cherché en vain la vocable dans la voyelle chantée, puisque, ou la voyelle se transforme, ou la vocable n'est plus perceptible.

Ceci explique non seulement les désaccords entre les divers expérimentateurs, mais encore pourquoi la voix chantée est moins bien comprise que la voix parlée; parce que le chanteur conserve la note et lâche la vocable, c'est-à-dire la voyelle, tandis que l'orateur conserve la vocable et lâche la note.

SÉANCE DU CONSEIL DU 20 DÉCEMBRE 1897.

Le Conseil approuve à l'unanimité la proposition faite par la Commission des fiches bibliographiques d'accepter l'offre de l'Institut bibliographique international de Bruxelles, savoir : de se charger à ses frais de l'impression et du tirage d'une brochure donnant : 1° les renseignements nécessaires pour l'usage de la classification décimale ; 2° la classification décimale détaillée concernant la Physique (qui est l'œuvre de la Société française de Physique); 3° un résumé de classification décimale pour les autres branches des connaissances humaines. L'Institut bibliographique international mettra gratuitement à la disposition des membres de la Société un nombre d'exemplaires assez grand pour que chaque membre de la Société de Physique en reçoive un, à la seule condition que cette Société fasse les frais de la composition de la classification décimale détaillée de la Physique et de l'index alphabétique correspondant.

M. le Président fait voter des remercîments à M. Dufet pour son beau travail sur les *Données numériques de l'Optique*, dont les dix-sept premières feuilles sont déjà imprimées. Le Conseil décide que cet ouvrage paraîtra en trois volumes.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1897

Actes de la Société scientifique du Chili, fondée par un groupe de Français. — 6e année, t. V, 1897; in-4°.

Almanach-Annuaire de l'Électricité et de l'Électrochimie. — Année 1897. Publié par M. Firmin Leclerc; vol. in-18.

American Journal of Science (the). — 4e série, vol. III et IV, 1897; in-8°.

American Journal of Mathematics. — Edited by Thomas Craig with the co-operation of Simon Newcomb. — Published under the Auspices of the Johns Hopkins University, t. XVII, n° 4, et t. XIX, nos 1 et 2; in-4°.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge. — Band LX, LXI et LXII, 1897; 3 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 7e série, t. X, XI et XII, 1897; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. — T. VIII. Fasc. 1 à 4, 1897; 1 vol. in-4°.

Annales de l'École polytechnique de Delft. — T. III, 1re et 2e livraisons 1894, et t. VII, 3e et 4e livraisons 1897.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publié par S.-C. Hepitès.

Annales télégraphiques. — 3e série, t. XXII, 1897, 1 vol in-8°.

Annuaire pour l'an 1897 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Annuaire de l'Observatoire municipal de Montsouris pour l'année 1897 (Analyses et Travaux de 1895). — Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896; 1 vol. in-18.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — T. XXXIV, 1897; 1 vol. in-8°.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié, 5e année, 1897; 1 vol. in-8°.

Astrophysical Journal, an International Review of Spectroscopy and Astronomical Physics (Chicago). — Vol. V, 1897; in-8°.

Astronomical and Magnetical and Meteorological observations made at the Royal Observatory Greenwich in the year 1894, under the direction of W. H. M. Christie, M. A., F. R. S. — London, printed for the Majesty's stationery office, 1897; 1 vol. in-4°.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XXI, 1897; 1 vol. in-8°.

Boletin de la Sociedad nacional de mineria de Santiago de Chile. — T. VIII, année 1897; 1 vol. in-4°.

Boletin mensual del Observatorio meteorologico del Colegio Pio de Villa Colon. — Montevideo, année 1897, 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. XIV, année 1897; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie. — T. X, année 1897; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens. — Année 1897, 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale. — T. XI, 4e série, 1897; 1 vol. in-4°.

Bulletin de la Société philomatique de Paris. — Compte rendu sommaire des séances, 1897; in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 3e série, vol. XXXIII, année 1897; 1 vol. in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 2e série, t. VIII, année 1896-1897; 1 vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1897; 1 vol. in-8°.

Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. — T. CXXIV et CXXVI, 1897; 2 vol. in-4°.

Digest of Physical Tests and Laboratory Practice a resume of Practical Test made in the Laboratory of the World (The). — Published quaterly by Frederick A. Riehlé, Philadelphie. Pa. U. S. A. Vol. II. Nos 1 à 4, 1897. Br. in-8°.

Electrician (The). — Vol. XXXVI et XXXVII, 1897; 2 vol. in-4°.

Electricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. — 2e série, t. IX; année 1897; in-8°.

Fortschritte der Physik im Jahre 1896, I, II, III, Dargestellt von der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin ; 4 vol. in-8°.

Fortschritte der Physik. — Namenregister nebst einem Sach-Ergänzungsregister zu den Fortschritte der Physik, herausgegeben von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Bd, XXI (1865) *bis* XLIII (1887), unter Berücksichtigung der in den Bänden I — XX enthaltenen Autorennamen. Bearbetet von Prof. Dr. B. Schwalbe. — Berlin. — Druck und Verlag von Georg Reimer 1897; 1 vol. in-8°.

Guide-Annuaire général des industries gaz, eaux, électricité. 3e année. Paris, Dubuisson, 1897. 1 vol. in-8°.

Industrie électrique (l'). — Revue de la Science électrique et de ses applications industrielles, t. VI, année 1897; 1 vol. in-4°.

Institut météorologique de Danemark. — Observations météorologiques, magnétiques et hydrométriques de l'île de Danemark dans le Scoresby sound 1891-1892. Faites par l'Expédition danoise sous la direction de M. C. Ryder; 1 vol. in-4°.

— Résumé des observations météorologiques de Copenhague, 1896; par M. V. Villaume-Gantzen. Br. in-8°.

Journal de Physique, théorique et appliquée, fondé par J.-Ch. d'Almeida, et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, G. Lippmann, E. Mascart, A. Potier, 3e série, 26e année, t. VI, 1897 ; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet. 11e année, 1897; 1 vol. in-8°.

Journal of the Franklin Institute (The). — T. CXLIII et CXLIV, 1897 ; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société Physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg. — T. XXIX, 1897 ; 1 vol. in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXVII, nos 126 à 130, 1897; 1 vol. in-8°.

Journal of Physical Chemistry (The) (Ithaca). — Vol. I, nos 4 à 10, 1897; in-8°.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales, edited by Honorary Secretaries. — Vol. XXX, 1896. 1 vol. in-8°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs. — 7e série, vol. I ; 1896. Besançon, Dodivers et Cie; 1 vol. in-8°.

Memoirs and Proceedings of the Manchester litterary and philosophical Society. — T. LXI, année 1896-1897; in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 50e année, année 1897; 1 vol. in-8°.

Memorias y revista de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico); t. X, 1896-1897; 1 vol. in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. XVII, 1897; 1 vol. in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XXIV, année 1897; 1 vol. in-4°.

Nature (de Londres). — Vol. LIVI, 1897; 1 vol. in-4°.

Nuovo Cimento (Il). — 4e série, vol. 6, année 1897, 1 vol. in-8°.

Philosophical Magazine and Journal of Science. — Fifth series, vol. 43 et 44, 1897; 2 vol. in-8°.

Philosophical Review (The). — A Journal of experimental and theoretical Physics, publié par M. Nichols, t. V, 1897; 1 vol. in-8°.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt. — Die Thätigkeit der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in der Zeit vom 1. Februar 1896 bis 31. Januar 1897 (Extr. *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, mai 1897). Br. in-4°.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax, Nova Scotia. — Session of 1896-97; Vol. IX, Part 3 in-8°.

Proceedings of the Physical Society of London. — Vol. XV, 1897, 1 vol. in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science. — New series, vol. in-8°, XXXII, n° 1 et nos 5 à 17 et vol. XXXII, nos 1 à 8, in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XXV, n° 153, et vol. XXVI, nos 154 et 155, in-8°.

Proceedings of the Royal Society. — Vol. LXII et LXIII, 1897; 2 vol., in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. — Vol. XX, sessions 1893-1895, in-8°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier, 8e année, 1897; 1 vol. in-4°.

Revue industrielle (la). — Année 1897; 1 vol. in-4°.

Revue des Questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles. T. XI, 1897 ; 1 vol. in-8°.

Revue de Physique et de Chimie et de leurs Applications industrielles. — Publiée sous la direction scientifique de M. Schützenberger, 1re année, 1896-1897; 1 vol in-8°.

Revue générale internationale scientifique, littéraire et artistique. — Janvier à avril et juin à novembre 1897. Paris, Ollendorff, in-8°.

Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society (The). — Vol. VIII, part. 5, 1897, in-8°.

Scientific Transactions of the Royal Dublin Society (The). — Vol. VI, 1896, et vol. VII, 1897 (numéros séparés), in-4°.

Smithsonian Institution. — Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, showing the operations, expenditures, and conditions of the Institution for the year ending june 30. — Report of the U. S. National Museum. — Washington, 1893-1894-1895. Government Printing Office ; 3 vol. in-8°.

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Procès-verbaux des séances. Année 1897 ; in-8°.

Technology quarterly and Proceedings of the Society of Arts. — Vol. X, 1897, in-8°.

Transactions of the Royal Society of Edinburgh. — Vol. XXXVII, part. III, for the session 1894-1894; part. IV, for the session 1894-1895. — Vol. XXXVIII, part. I, for the session 1894-1895 ; part. II, for the session 1894-1895 ; in-4°.

Report of the Superintendent of the U. S. Coast and Geodetic Survey showing the Progress of the work during the fiscal year ending with June 1895. — Washington, Government Printing Office, 1896 ; 1 vol. in-4°.

Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Jahrg. 1897 ; 1 vol. in-8°.

Berliner Zweigverein der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft. Vierzehntes Vereinsjahr, 1897. — Berlin, 1897. Br. in-8°.

Arctowski (Henryk). — La Généalogie des Sciences. — Quelques remarques sur la bibliographie des Mémoires scientifiques et le principe de la classification naturelle des Sciences. (Extr. *Bulletin de l'Institut*

international de bibliographie.) Bruxelles, Ve Ferdinand Lacier, 1897. Br. in-8°.

Arctowski (Henryk). — Materyaly do Bibliografii prac naukowych Polskich. Zestawienie Tresei 14-ta Tomow Pamietnika Fizyograficznego 1881-1896. Bruksella, Miedzynarodowy, Instytut Bibliograficzny, 1897. Br. in-8°.

Astre (**Ch.**). — Étude sur quelques dérivés aminés et potassiques de la benzoquinone. (Thèse.) Montpellier, Ch. Bœhm, 1896. In-8°.

Bagard (**H.**). — Sur le phénomène de Hall dans les liquides. (Extr. des *C. R. de l'Académie des Sciences*, 1er semestre 1896.) In-4°.

Bandsept (**A.**). — Eclairage par incandescence au moyen des brûleurs auto-mélangeurs A. Bandsept. (Extr. d'*Une communication faite à l'Association des gaziers belges.*) Bruxelles, Severeyns, 1896. Br. petit in-8°.

Barral (**E.**). — Recherches sur quelques dérivés surchlorés du phénol et du benzène. (Thèse.) Lyon, A. Waltener et Cie, 1895. In-8°.

Battelli (**A.**). — Rapporti fra i raggi catodici e i raggi del Röntgen. (Extr. *Nuovo Cimento*, 4e série, vol. V, mai 1897.) Br. in-4°.

— Rapporti fra le azioni fotografiche all'interno dei tubi a vuoto. (Extr. *Nuovo Cimento*, 4e série, vol. V, 1897.) Pise, Pierraccini, 1897.

Bayrac (**H.-P.**). — Sur une nouvelle méthode de préparation des paraquinones au moyen des indophénols. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895. In-8°.

Bech (**M.**). — Etude expérimentale sur l'électro-magnétisme renversant toutes les idées actuellement admises sur cette science. — Paris, Vigot frères, 1897. Br. in-8°.

Benoit (**René**). — Détermination du rapport du yard au mètre. (Extr. *Trav. et Mém. du Bureau International des Poids et Mesures.*) Paris, Gauthier-Villars, 1896. Br. in-4°.

Bergonié (**J.**). — Cours de Physique biologique. — Leçons de mécanique animale. (Leçons sténographiées et publiées avec le concours de MM. Ed. Winkler et L. Roumaillac.) Bordeaux, Feret et fils, 1897. 1 vol. in-4°.

— Eloge de de Romas. Discours de réception prononcé en séance publique le 13 décembre 1895. Bordeaux, G. Gounouilhou, 1896. Br. in-4°.

Bjerknes (**V.**). — Uber electrische Resonanz. I et II. (Extr. *Bihang Till K. Svenska vet.-Akad. Handlingar*, Band. 20, Afd I, nos 4, 5 et 7.) Stockholm, 1895, 3 br. in-8°.

Bloch (**R. Salvador**). — Recherches expérimentales sur l'absorption métallique de la lumière et les phénomènes optiques qui s'y rattachent. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Blanchère (H. de la). — Monographie du stéréoscope. Paris, Amyot, 1853. 1 vol. in-4°.

Blondel (André). — Quelques propriétés générales des champs magnétiques tournants. (Extr. de l'*Eclairage électrique.*) Paris, G. Garré, 1896. Br. in-4°.

— Congrès international des Electriciens, Genève, 1896. — Rapport sur les unités photométriques. Lausanne, H. Vallotton, Guex et Cie, 1896. Br. in-8°.

Börnstein (R.). — Electrische Beobachtungen bei Luftfahrten unter Einfluss der Ballonladung. (Extr. *Annalen der Physik und Chemie*, Band 61, 1897.) Br. in-8°.

Bosi (Italo). — Sulla resistenza elettrica delle soluzioni saline in movimento. (Extr. *Nuovo Cimento*, 4e série, vol. V, 1897.) Pisa, Pieraccini, 1897. Br. in-8°.

Brochet (A.). — Action du chlore sur les alcools de la série grasse. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Burattini (Tito Livio). — Misura Universale. (*W. Krakowie-Nakladem Akademii Umiejetnosci.*) 1897. Br. in-4°.

Camichel (Ch.). — Ampèremètre thermique à mercure. (Extr. de l'*Eclairage électrique*, 28 août 1897, t. XII ; p. 835.) Paris, G. Carré, 1897. Br. in-4°.

Chappuis (James) et **Berget (Alphonse).** — Cours de physique à l'usage des candidats aux écoles spéciales, et conforme aux derniers programmes. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898. 1 vol. in-8°.

Chevastelan (R.). — Contribution à l'étude des hydrates de carbone. (Thèse.) Bordeaux, G. Gounouilhou, 1894. In-8°.

Colson (R.). — Les rayons Röntgen. (Extr. des *Annales télégraphiques*, mars-avril, 1897, t. XXIII.) In-8°.

— La plaque photographique (gélatino-bromure d'argent). Propriétés. Le Visible, l'Invisible. Paris, G. Carré et C. Naud, 1897. 1 vol. in-8°.

Combet. — Extension des formules de Thermodynamique relatives aux effets Thomson et Peltier. (Extr. *Ass. française pour l'avanc. des Sc., Congrès de Carthage*, 1896.) Br. in-8°.

Cornu (A.). — Sur l'observation et l'interprétation cinématique des phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman. (Extr. des *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXV, 18 octobre 1897.) In-4°.

Cornu (**A.**). — Sur les obstacles qui s'opposent à l'adoption de l'heure comme unité de temps. In-4°.

— La décimalisation de l'heure et de la circonférence. (Extr. de l'*Éclairage électrique*, 22 mai 1897.) In-4°.

Cotton (**A.**). — Recherches sur l'absorption et la division de la lumière par les milieux doués du pouvoir rotatoire. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-4°.

Deniker (**J.**). — Bibliographie des Travaux scientifiques (sciences mathématiques, physiques et naturelles) publiés par les Sociétés savantes de la France, dressée sous les auspices du ministère de l'Instruction publique. 2e livraison. Paris, Imprimerie Nationale 1896. Br. in-4°.

Devé (**Ch.**). — Vérificateurs du dressage des canons de fusil. (Extrait de la *Revue d'Artillerie.*) Paris, Berger-Levrault et Cie, 1896. Br. in-8°.

Duhem (**P.**). — Traité élémentaire de mécanique chimique fondée sur la thermodynamique. — Tome I : Introduction, Principes fondamentaux de la thermodynamique. — Faux équilibres et explosions et t. II. Paris, A. Hermann, 1897-1898.

Dumont (**G.**). — Electromoteurs, leurs applications. (*Encyclopédie des Aide-Mémoire* Léauté.) Paris, Gauthier-Villars et fils, Masson et Cie, 1897. Petit in-8°.

Ebert (**H.**). — Guide pour le soufflage du verre. Traduit sur la 2e édition, et annoté par P. Lugol. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1897. 1 vol. in-8°.

Etaix (**L.**). — Contribution à l'étude de quelques acides bibasiques. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895. In-8°.

Exposition Internationale de Bruxelles en 1897. — Section des sciences (Section 5 *bis*). Bruxelles, Poulleunis et Centerick, 1896. Br. in-8°.

Fabry (**Ch.**). — Les piles électriques. (*Encyclopédie des Aide-Mémoires.*) Paris, Gauthier-Villars et fils, Masson et Cie, 1897. Petit in-8e.

Fleurent (**Emile**). — Recherches sur la constitution des matières albuminoïdes extraites de l'organisme végétal. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895. In-8°.

Foveau de Courmelles. — Rhéostats pour l'utilisation médicale des courants de ville ; dispositif nouveau et mesures. (Extr. *Bull. de l'Acad. royale de Médecine de Belgique*, 27 mars 1897.) In-8°.

— Traité de radiographie médicale et scientifique. — Paris, Octave Doin, 1897. 1 vol. in-8°.

Foveau de Courmelles et Chardin (C.). — Précis d'électricité médicale. Paris, O. Berthier, 1896. 1 vol. in-8°.

Goguel (H.). — Contribution à l'étude des arséniates et des antimoniates cristallisés préparés par voie humide. (Thèse.) Bordeaux, G. Gounouilhou, 1894. In-8°.

Hébert (**Alexandre**). — La technique des rayons X. — Manuel opératoire de la radiographie et de la fluoroscopie, à l'usage des médecins, chirurgiens et amateurs de photographie. (Bibliothèque de la *Revue générale des Sciences.*) Paris, Carré et Naud, 1897. 1 vol. in-8°.

Hélier (H.). — Recherches sur les combinaisons gazeuses. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-4°.

Hillmayr (**Wilhelm**). — Uber die Gefrierpunkte verdünnter Schwefelsaüre. (Extr. *Akad. der Wissen. in Wien.* Janner, 1897.) In-8°.

Houdaille (F.). — Mesures du coefficient de diffusion de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et du coefficient de frottement de la vapeur d'eau. (Thèse.) Montpellier, Ch. Bœhm, 1896. In-4°.

Hurmuzescu (D.). — Nouvelle détermination du rapport v entre les unités électrostatiques et électromagnétiques. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-4°.

Klobb (T.). — Nouvelles synthèses au moyen de l'éther cyanacétique. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Kayser (Ed.). — Contribution à l'étude de la fermentation lactique. (Thèse.) Sceaux. Charaire et Cie, 1894. In-8°.

Lallemand (Ch.). — Rapport sur les travaux du Service du Nivellement général de la France en 1896, suivi de trois notes : 1° au sujet des lois du colonel Goulier, relatives à la dilatation du bois des mires ; 2° sur le repérage de la verticale dans les instruments de géodésie et de topographie ; 3° sur l'erreur de réfraction dans le nivellement géométrique. (Extr. des *Comptes Rendus des séances de la Commission permanente de l'Association géodésique internationale,* tenues à Lausanne en octobre 1896.) Neufchâtel, Attinger, 1897. Br. in-4°.

— L'erreur de réfraction dans le nivellement géométrique. (Extr. de la *Rivista di Topografia e Catasto,* vol. IX.) Turin, Vincent Bona, 1897. Br. in-4°.

Lefèvre (**Julien**). — Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoires.*) Paris, Gauthier-Villars et fils, Masson et Cie, 1897. Petit in-8°.

Lepercq (G.). — Action des azotides alcalins sur les éthers bromo-propioniques et bromo-butyriques. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Loppé (**F.**). — Transformateur de tension à courants alternatifs. (*Encyclopédie des Aide-Mémoires Léauté.*) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1897. Petit in-8°.

Lussana (**Sylvio**). — Descrizione di un apparecchio semplice che serve a dimostrare le leggi relative alle radiazoni calorifiche. (Extr. *Rivista Scientifica e Industriale*, anno XXIX, n° 10-11 ; 1897.) Br. in-8°.

— A proposito della nata del dott. Adolfo Campetti « della influenza della temperatura sulla velocita degli Joni ». (Extr. *Rivista Scientifica e Industriale*, anno XXIX, n° 10-11 ; 1897.) Br. in-8°.

— Sul calore specifico dei gas. Ricerche sperimentali. (Extr. *R. Istituto veneto di scienze, lettere ad arti*, t. VIII, 7e série ; 1896-97.) Br. in-8°.

— Sul calore specifico dei gas. Ricerche sperimentali. (Extr. *Nuovo Cimento*, 4e série, vol. VI ; Agosto, 1897.) Br. in-8°.

— Contributo allo Studio della resistenza elettrica delle soluzioni considerata comme funzione della pressione e della temperatura. Ricerche sperimental, Memoria I. (Extr. *Nuovo Cimento*, 4e série, vol. V ; maggio e giugno, 1897.) Br. in-8°.

Lussana (**S.**) et **Cinelli** (**M.**). — L'attrito interno e l'attrito elettrolitico nelle soluzioni. — Ricerche sperimentali. (Extr. *R. Accademia dei Fisiocritici*, 4e série, vol. IX, 1897.) Br. in-8°.

Marie (**T.**). — Recherches sur les acides cérotique et mélissique. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895. In-4°.

Mathias (**E.**). — Sur la construction et l'utilisation des cartes magnétiques. — Application au bassin de la Garonne. (Extr. des *Mémoires de l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse*, 9e série, t. IX, 1897.)

Mélani (**P.-G.**). — Scariche elettriche nei gas rarefatti. — Influenza del magnetismo. (Extr. *Nuovo Cimento*, 4e série, vol. V, mai 1897.) Br. in-8°.

Niewenglowski (**G.-H.**). — La Photographie et la Photochimie. (Bibliothèque scientifique de E.-M. Alglave.) 1 vol. in-8°. Paris, Félix Alcan, 1897.

Nivoit (**E.**). — Notice sur la vie et les travaux de M. Massieu. Paris, P. Vicq-Dunod et Cie, 1897. In-8°.

Nodon (**Albert**). — La photographie du spectre infra-rouge et Étude des rayons Rontgen. (Rapport présenté au IIe Congrès international de Chimie appliquée.) Paris, G. Perret et Cie, 1897. Br. in-8°.

Pellat (**H.**). — Thermodynamique. Leçons professées à la Sorbonne en 1895-96, rédigées par MM. Duperray et Goisot. Paris, G. Carré et C. Naud, 1897. 1 vol. in-8°.

Pellissier (**G.**). — L'éclairage à l'acétylène. — Historique, fabrication, appareils, applications, dangers. Paris, Carré et C. Naud, 1897. 1 vol. in-8°.

Perrier (**G.**). — Combinaisons du chlorure d'aluminium anhydre avec un certain nombre de composés chimiques. — Synthèses de cétones. (Thèse.) Caen, E. Lanier, 1896. In-8°.

Peyrusson (**Edouard**). — Electrolyseur et procédés d'électrolyse. — Limoges, Ve H. Ducourtieux, 1896. Br. in-8°.

Poitevin. — Nouvel appareil pour la recomposition de la lumière. Paris, Colin, 1889.

Pokrovsky (**P.-M.**). — Vie et Travaux de A. Stoletow (en russe). Kiew, 1896. Br. in-8°.

Ponsot (**A.**). — Recherches sur la congélation des solutions aqueuses étendues. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Préaubert (**E.**). — La vie, le mode de mouvement. Essai d'une théorie physique des phénomènes vitaux. Paris, Félix Alcan, 1897. 1 vol. in-8°.

Raffard (**N.-J.**). — Le piston, la tige de piston, les guides de la tête de piston et le balancier. (Extr. du *Bull. technologique de la Société des anciens élèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers*, novembre 1896.) Paris, Chaix, 1896.

Rey-Pailhade (**J. de**). — Projet d'éphémérides astronomiques et géographiques dans le système décimal. (*Congrès internationaux de géographie de Londres et de Berlin.*) Toulouse, Lagarde et Sebille, 1896. In-8°.

Rigollot (**H.**). — Recherches expérimentales sur quelques actinomètres électro-chimiques. Paris, Masson et Cie, 1897. Br. in-8°.

Schiller (**N.-N.**). — Vie et Travaux de A. Stoletow (en russe). Kiew, 1896. Br. in-8°.

Schiller (**N.**). — Einige Versuche über Verdampfung von Flüssigkeiten durch einen hohen Gasdruck. (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, Band 60, 1897.) In-8°.

Sentis (**H.**). — Tension superficielle de l'eau et des solutions salines. (Thèse.) Grenoble, F. Allier, 1897. In-4°.

Simon (**Louis**). — Action des amines aromatiques primaires sur quelques composés cétoniques dissymétriques. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895. In-8°.

Sokolow (**A.-P.**). — A.-G. Stoletow : Esquisse biographique. — Saint-Pétersbourg, 1897. In-8°.

Stcheglayef (**W.**). — Sur quelques propriétés électriques des tubes de Crookes (en russe). Saint-Pétersbourg, 1896. Br. in-8°.

Propagation des perturbations électriques dans certains fils conducteurs. (En russe.) Saint-Pétersbourg, 1896. Br. in-8°.

Swyngedauw (**René**). — Contribution à l'étude des décharges. — Les potentiels explosifs statiques et dynamiques. (Thèse.) Paris, G. Carré et C. Naud, 1897. In-4°.

— Sur certaines expériences et propositions de M. Jaumann. (Extrait de l'*Éclairage électrique*, 27 mars 1897.) Paris, G. Carré et C. Naud, 1897. In-4°.

Teploff (**N.**). — Sur la structure nodale du chlorhydrate d'ammoniaque et de 250 autres corps. (Traduit du russe par M. P. et N. F.) Saint-Pétersbourg, imp. E. Arnhold, 1896. 1 vol. in-8°.

Thomson (**J.-J.**). — Notes on recent researches in Electricity and Magnetism intended as a sequel to Professor Clerk-Maxwell's « Treatise on Electricity and Magnetism ». — Oxford, Claredon, 1893. 1 vol. in-8°.

Vallier (**E.**). — Cuirassés et projectiles de Marine. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoires.*) Paris, Gauthier-Villars et fils, Masson et Cie, 1897. 1 vol. petit in-8°.

Varet (**R.**). — Recherches sur les combinaisons du mercure. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Veillon (**Henri**). — Uber ebene Curven dritter Ordnung welche einen Mittelpunkt haben. Inaugural-dissertation zur Erlangung der philosophischen Doctorwürde der hohen philosophischen Facultät zu Basel. Basel, L. Reinhardt, 1890. Br. in-8°.

— Sur l'aimantation de l'acier par les décharges oscillantes de la bouteille de Leyde. (Extr. *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, t. XXXIV, 1896.) In-8°.

— Ueber die Magnetisirung des Stahles durch die oscillatorische Entladung der Leydener Flasche. (Ext. *Annalen der Physik und Chemie, Band* 58, 1896.) In-8°.

Weiss (**Pierre**). — Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée et de quelques alliages de fer et d'antimoine. (Thèse.) Paris, G. Carré, 1896. In-4°.

Vigouroux (**E.**). — Le silicium et les siliciures métalliques. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Villard (Paul). — Étude expérimentale des hydrates de gaz. (1re thèse.) — Étude des gaz liquéfiés. (2e thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Witz (A.). — Analyse d'une machine compound. (Extr. *Soc. Ind. du Nord de la France*, Lille, L. Danel, 1896. Br. in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1898.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1898.)

BUREAU.

MM. BENOÎT (René), *Président.*
Colonel BASSOT, *Vice-Président.*
PELLAT, *Secrétaire général.*
WEISS (G.), *Secrétaire.*
RAVEAU, *Vice-Secrétaire.*
GAY (J.), *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. BERTIN.	1896.	DVORÁK (Agram).	1896.
VOISENAT.		JOUBIN (Besançon).	
MANEUVRIER.		MATHIAS (Toulouse).	
DE LA TOUANNE.		OUMOFF (Moscou).	
CHAPPUIS (J.).	1897.	BATTELLI (Pise).	1897.
FAVÉ.		BRUNHES (Dijon).	
POINCARÉ (L.).		DELAUNAY (Novo-Alexandria).	
SERRÉ-GUINO.		GOSSART (Bordeaux).	
BRANLY.	1898.	GAYON (Bordeaux).	1898.
CARVALLO.		HURMUZESCU (Jassy).	
SIEGLER.		SENTIS (Grenoble).	
VILLARD (P.).		SORET (Genève).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.
1888.		ROMILLY (de).
1889.		MASCART.
1890.		MALLARD.
1891.		FRIEDEL.
1892.		VIOLLE.
1893.		LIPPMANN.
1894.		JOUBERT.
1895.		CAILLETET.
1896.		BOUTY.
1897.		BECQUEREL (H.).

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **STOKES** (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge (Angleterre).
KELVIN (**Sir William Thomson, Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).
BELL (**Alex. Graham**), de Washington (États-Unis).
BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
JANSSEN (**J.**), Membre de l'Institut.
BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
ROWLAND (**H.-A.**), Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).
CORNU (**M.-A.**), Membre de l'Institut.
MASCART (**E.-E.-N.**), Membre de l'Institut.

DONATEURS (2).

	fr.
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (**Baron d'EICHTHAL**)	2 000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1 000

---

(1) *Membres honoraires décédés* :

MM.	A. Becquerel.	1874-78.
	V. Regnault.	1876-78.
	Secchi.	1876-78.
	Billet.	1876-82.
	Plateau.	1880-83.
	Jamin.	1882-86.
	Edlund.	1884-88.
	Broch.	1878-89.
	Joule.	1878-89.
	Hirn.	1890-90.
	Ed. Becquerel.	1882-91.
	Fizeau.	1873-96.

Extrait des Statuts : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Etranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supé-

MM. **ANONYME** (pour aider à la publication des Mémoires). . 5 000
GUEBHARD, Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque)..... 10 000
ANONYME (pour aider à la publication du volume des constantes)..... 5 000
JENNESSON, Principal de Collège (Legs)..... 500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)..... 5 547,50
BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut..... 1 500
SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.
ANONYME..... 1 000
JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême ... 500
ROTHSCHILD (Baron Edmond de)..... 300
CANET..... 300

MEMBRES A VIE (1).

MM. * D'Abbadie, Membre de l'Institut.
Abraham (Henri), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 64, rue Richer.
* Abria, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 58, rue Monsieur-le-Prince.
Amagat, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.
Arnoux (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.
Arsonval (Dr d'), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.
Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.
Babinski, Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann.
Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.
Baume Pluvinel (comte de la), 17, rue de Constantine.

---

rieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de Donateurs. Les membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, art. 3, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Bandsept (Albert), Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 32, rue du Général-Foy.

Baron, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes, 18, avenue La Bourdonnais.

Bassée (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

Becquerel (Henri), Membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville.

Benoît (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Bertin, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière.

Bienaymé, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, à Toulon.

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

Bjerknes (Wilhelm), chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

Blondin, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière.

Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux.

Bordet (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la Cie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

Bourgeois (Léon), Dr ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

Branly, Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

* Bréguet (Antoine), Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

Brillouin, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

* Brion, Professeur au Lycée Saint-Louis.

Brisse (Ch.), 18, rue Vauquelin.

Broca (Dr André), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.

Brunhes (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

* Buchin, Ingénieur électricien.

* Cabanellas, Ingénieur électricien.

MM. Cadot, Professeur au Lycée de Douai.
Cailho, Ingénieur des Télégraphes, 6, square du Croisic.
Canet, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.
Carpentier, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.
Carimey, Professeur au Lycée Saint-Louis.
Carvallo, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue de Courty.
Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.
Cauro (Joseph), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 6, rue Lunain.
Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince.
Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.
Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).
Chauveau, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille.
Chaves (Antonio Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).
* Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis.
Claverie, Censeur du Lycée Condorcet.
Clément (Louis), 18, rue Louis-le-Grand.
Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin.
Compagnie des Chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann.
Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire.
Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin.
Coppet (de), villa Irène, rue Magnan, à Nice.
Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.
Culmann (Paul), Docteur ès sciences, Weinbergstrasse, 82, à Zurich (Suisse).
Curie (Pierre), Docteur ès sciences, Chef des travaux de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.
Dambier, Professeur au Collège Stanislas.
Defforges (le Lieutenant-Colonel G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de la Tour-Maubourg.
Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.
Diot, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.
Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, 1, rue Schlumberger, à Mulhouse (Alsace).
Drouin (Félix), 5, rue Descombes.
* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.
Duclaux, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*, rue de Fleurus.

MM. Duclos, Ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

Dufet, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

Engel, Professeur à l'Ecole centrale, 35, avenue de Breteuil.

Faivre-Dupaigre, Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.

Favé, Ingénieur hydrographe, 1, rue de Lille.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.

Foussereau, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 56, boulevard de Port-Royal.

Foveau de Courmelles (Dr), 26, rue de Châteaudun.

Friedel, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Michelet.

Galimard, Ancien Pharmacien de 1re classe, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

Gall (Henry), Directeur de la Société d'électro-chimie, 42, rue de Clichy.

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.

Gascard (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 14, rue d'Alsace-Lorraine, à Rouen.

* Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur.

Gay (Jules), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette.

Gayon, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux.

Gernez, Maître de conférences à l'École normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 223, rue Saint-Jacques.

Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen.

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus).

Gouré de Villemontée, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

Gramont (Arnaud de), Docteur ès sciences, 81, rue de Lille, et au Vignal par Pau.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co limited, à Londres (Angleterre).

MM. Grosseteste (William), Ingénieur, 67, avenue Malakoff.

Grouvelle, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire.

Guébhard (Dr Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

* Hugo (comte Léopold).

Husson (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* Jamin, Membre de l'Institut.

Janet (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central d'électricité, 180, boulevard Saint-Germain.

Javal, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 52, rue de Grenelle.

Javaux (Émile), Directeur de la Société des *Ateliers Gramme*, 33, rue Clavel.

* Jennesson, Ancien Principal.

Jénot, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

Jeunet, Professeur honoraire, 15, avenue de la Défense-de-Paris, Puteaux (Seine).

Jobin (A.), Ancien Élève de l'École polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon.

* Joly, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

Joubert, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

Kerangué (Yves de), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

Knoll, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

Kœchlin (Horace), Chimiste, 16, rue Masséna, à Lyon.

Krouchkoll, Docteur ès sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille.

Lacour, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.

Laurent (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon.

Lapresté, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

Laviéville, Inspecteur de l'Académie de Paris, 14, rue Soufflot.

Le Bel, Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

Leblanc, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

Lechat, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand, 4, rue de Calais.

Le Chatelier (André), Ingénieur des Constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara.

MM. Le Cordier (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 3, place Lecoq, à Clermont-Ferrand.

Leduc, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

Lefebvre (Pierre), Prof. au Lycée, 34, rue de Bellaing, à Douai.

Lemoine (E.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

* Lemonnier, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* Létang (Paul), Ingénieur électricien.

Limb, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et Cie de Lyon, 43, rue de Lyon, et à Cuire (Rhône).

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

Lyon (Gustave), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

* Mallard, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

Maneuvrier, Directeur-Adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne.

Marie, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

Masson (G.), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Maurain, professeur au Lycée de Lorient.

* Maurat, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

Menier (Henri), 8, rue de Vigny.

Meslin, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.

Mestre, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Michel (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

Molteni, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.

Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liège.

Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse, 25, à Vienne (Autriche).

MM. Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court. Temple E. C., Londres.
Nerville (de), Ingénieur des Télégraphes, 101, rue de Boétie.
Nogué (Émile), Attaché à la maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.
* Niaudet, Ingénieur civil.
Ogier (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Palmade, Professeur au Lycée de Montpellier.
Palmade, Capitaine du Génie, adjoint au Commandant de l'École du Génie, à Versailles.
Pavlidès (Démosthènes), Docteur en Médecine.
Pellat, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.
Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).
* Pérot, Dessinateur et Graveur.
Pérot (Alfred), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 119, boulevard Longchamps, à Marseille.
Perreau, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.
Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand.
Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
Poincaré (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.
Poincaré (Lucien), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 17, rue d'Assas.
Pollard (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.
Popp (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques.
Potier, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, chef du contrôle de la Société normande d'électricité, 7, rue Henri-Barbot, à Rouen.
Pupin (Dr), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.
Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland.
Raffard (N.-J.), Ingénieur, 5, avenue d'Orléans.
Raymond, Ingén. principal des messageries maritimes à la Ciotat.
* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Renault (Albert), Licencié ès sciences physiques, 30, rue du Faubourg-Saint-Jacques.
Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam.
* Rigout (A.), Docteur en Médecine.
Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse.
Rodde (Ferd.), 61, rue Rochechouart.
Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

MM. Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne.
Roger, Chef d'institution honoraire, 7, rue Faustin-Hélie.
Romilly (Félix de), 25, avenue Montaigne.
Romilly (Paul de), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.
Rothschild (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré.
Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont.
Sainte-Claire Deville (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville.
* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.
* Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.
Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
Sebert, Membre de l'Institut, Général d'Artillerie de Marine, Administrateur des forges et chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier.
Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.
Sentis, professeur au Lycée, 17, boulevard de Roanne, à Grenoble.
Serpollet, Ingénieur, 27, rue des Cloys.
* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.
Strauss, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap.
Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, boulevard Haussmann.
Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).
Termier, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard.
* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.
* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.
Thomas, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.
Thouvenel, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes.
Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon.
Troost, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte.
Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville.
Vagniez (Édouard), à Amiens.
* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).
Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École polytechnique, 68, avenue Bosquet.
Vautier (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.
* Verrier (J.-F.-G.).
Villiers (Antoine), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.
Violle, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.
Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.
* Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut.

MM. Weiss (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin.

Weiss (Pierre), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.

Werlein (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm.

Weyher, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère.

Wunschendorff, Ingénieur des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

Wyrouboff, Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède.

Bordé (Paul), Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann.

* Chabry (Dr L.), Docteur ès sciences.

Chairy, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh.

* Gaudin, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Gérard (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

Ginsberg (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss et Cie, 8, rue d'Albouy.

Jacobs (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

Korda (Désiré), Ingénieur du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin.

Korolkoff (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

Massin, Ingénieur des Télégraphes au dépôt de l'administration des Postes et Télégraphes.

Mergier (Dr), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 27, avenue d'Antin.

Oumoff (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

Raveau (C.), Répétiteur à l'Institut National Agronomique, 5, rue des Écoles.

Timiriazeff, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

Tombeck, Licencié ès Sciences, 8, square du Croisic.

Perrin (Jean), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 37, rue Rousselet.

Villard (P.), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm.

Vincent (G.), Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRAHAM (**Henri**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 64, rue Richer.

ADAM (**Étienne**), Professeur au Lycée, 32, rue du Téméraire, à Nancy.

ALBERT (**Fernand**), Professeur au Collège de Pontoise, 4, rue de la Terrasse, à Créteil.

ALBERTOTTI (**Guiseppe**), Professeur d'oculistique à l'Université de Modène (Italie).

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince.

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans.

AMET (**E.**), Ingénieur aux usines Saint-Hubert, place du Champ-Benoît, à Sézanne (Marne).

ANDRÉ (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (**Joseph**), 21, rue Hauteville.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres.

ARBEZ (**Léon**), Industriel à Oyonnax (Ain).

ARGYROPOULOS, Professeur de Physique, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

ARNOYE (**Léon**), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban.

ARSONVAL (**Dr d'**), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences, 7, rue de Rigny, à Nancy.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 6, rue Berthollet.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.

AUBRY, Professeur au Lycée de Saint-Étienne.

AUDIBERT, Professeur au Collège, allées Paul Riquet, à Béziers.

AUPAIX (**Charles**), Professeur au Lycée, 62, rue de la Flèche, à Niort.

BABINSKI (**Henri**), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann.

BABLON, 42, rue Boulard.

BAGARD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, boulevard Thiers, 8, à Dijon.

BAILLAUD (**B.**), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

MM.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BANDSEPT, Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

BANET-RIVET (**P.**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 4, rue de Siam.

BARBIER (**Paul**), Ingénieur, 129, avenue de Villiers.

BARBILLION (**Louis**), Licencié ès sciences Physiques, Ingénieur électricien diplômé, 74, rue d'Assas.

BARDEL, Libraire, à Évreux.

BARDY, Directeur du Laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 32, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes, 18, avenue La Bourdonnais.

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac.

BASSAC, Professeur au Lycée de Vendôme.

BASSÉE (**Jules-Charles**), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

BASSET, Professeur au Lycée de Bourges.

BASSOT, Membre de l'Institut, Colonel du Génie, Directeur du Service géographique de l'armée, 16, rue Chauveau-Lagarde.

BASTIDE, Employé au Secrétariat de la Faculté des Sciences de Paris.

BATTELLI (**Angelo**), Professeur à l'Université de Pise (Italie).

BAUDOT (**Emile**), Ingénieur des télégraphes, 1, rue Littré.

BAUME PLUVINEL (Comte **Aymar de la**), 17, rue de Constantine.

BEAULARD (**Fernand**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 4, rue du Docteur-Bailly, à Grenoble.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal, à Grasse.

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 6, rue Dumont-d'Urville.

BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine de Lille.

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine.

BEGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 50, rue du Tilleul, à Roubaix.

BEL (**Edgar**), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).

BELL (**Alexander Graham**), 1331, Connecticut Ave., Washington D. C. (U. S. A.).

BELLE (**Gaston**), Ministre plénipotentiaire, 15, avenue Kléber.

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BÉNARD, Agrégé, Préparateur au Collège de France.

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIST (**L.**), Professeur au Lycée Henri IV, 62, rue Monge.

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences, attaché au Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

MM.

BERGONIÉ (Dr), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée, 42, rue Sainte-Claire, à Cahors.

BERNARD, Professeur au Collège d'Ajaccio.

BERNARD (**Louis**), Professeur au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans.

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 15, rue Guy-de-la-Brosse.

BERTHELOT, Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Assistant au Muséum, 3, rue Mazarine.

BERTIN, Directeur des Constructions navales au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière.

BERTIN, Professeur à l'École normale de la Grande-Sauve (Gironde).

BERTIN-SANS (Dr **Henri**), Professeur, agrégé de la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BESANÇON (**M.-J.**), Professeur à l'École Turgot et à l'École supérieure du Commerce.

BESOMBES (**Noël**), Directeur des Postes et des Télégraphes à Valence (Drôme).

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Sous-Chef de l'Exploitation à la Compagnie générale transatlantique, 6, rue Aubert.

BÉTOUX (**Victor**), Professeur au Lycée, 41, boulevard Carnot, à Toulouse.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS, à Caen.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 6, rue des Jardiniers, à Nancy.

BIDAUX (**Maurice**), Pharmacien de 1re classe, à Chaville.

BIENAYMÉ, Inspecteur général du Génie maritime, en retraite, 14, rue du Revel, à Toulon.

BIGET (**Albert**), Percepteur des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

BJERKNES (**Vilhelm**), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion, à Bordeaux.

BLOCH (**Salvador**), Professeur au Lycée de Versailles, 40, rue de Tocqueville.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue La Rochefoucauld.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

BLONDIN, Prof. au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière.

BLONDLOT (**R.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

MM.

BLUMBACH (**Theodor**), Membre de la Chambre centrale des poids et mesures de l'Empire de Russie, Perspective de Zabalkousky à Saint-Pétersbourg (Russie).

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOCAT (l'abbé), Licencié ès sciences Physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon.

BOISARD (**Louis**), Professeur au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram.

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux.

BONAPARTE (Prince **Roland**), 10, avenue d'Iéna.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONETTI (**L.**), Constructeur électricien, 69, avenue d'Orléans.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 108, avenue des Ternes.

BORDÉ (**Paul**), Ingénieur, Opticien, 29, boulevard Haussmann.

BORDENAVE (**L.**), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne.

BORDET (**Lucien**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

BORDIER (Dr **Henri**), Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Thomassin, à Lyon.

BORGMANN, Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOSE (**Jagadis, Chunder**), Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne.

BOUASSE (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse.

BOUCHER (**Ch.**), Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

BOUCHEROT (**Paul**), Ingénieur de la Société des établissements Weyher et Richemond, 44, rue Laugier.

BOUDRET (**Eugène**), Professeur au Lycée, rue Roussannes, à Agen.

BOUDRÉAUX (**Édouard**), Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 4, rue Clovis.

BOUDRÉAUX (**Léon**), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille.

BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée, 27, rue Saint-Léonard, à Angers.

BOULANGER (**Julien**), Commandant du Génie, Chef du Dépôt central de Télégraphie militaire, 25, boulevard du Montparnasse.

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux.

BOURGAREL, Professeur au Lycée de Grenoble.

BOURGEOIS (**Léon**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV.

BOURNIQUE, professeur au Lycée Janson-de-Sailly.

BOUSQUET (**E.**), Directeur de l'École normale de Nice.

BOUTAN, Inspecteur général honoraire de l'Instruction publique, à Miremonde, par Terraube (Gers).

BOUTET DE MONVEL, Professeur honoraire de l'Université, 5, rue des Pyramides.

MM.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOZZOLA (l'abbé **J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRACHET (**Henri**), Ingénieur électricien, 3, quai Fulchiron, à Lyon.

BRANLY (**E.**), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

BRAUN (**Gaston**), 43, avenue de l'Opéra.

BREWER (**William-J.**), Constructeur d'instruments pour les sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

BRIEU (**Georges**), Prof. à l'École normale, 11, rue Aubarède, à Périgueux.

BRILLOUIN (**Marcel**), Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du gaz, 58, rue de Châteaudun.

BRISSE (**Charles**), 18, rue Vauquelin.

BROCA (Dr **André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.

BROUQUIER (l'abbé), Directeur du petit Séminaire de Toulouse.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à Marseille.

BRUNEL, Lieutenant au 5e régiment d'Artillerie, 23, rue Mégerand, à Besançon.

BRUNHES (**Bernard**), professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Berbisey, à Dijon.

BUCQUET (**Maurice**), Président du *Photo-Club de Paris*, 12, rue Paul-Baudry.

BUDDE (Dr E.), Professeur, Alt Moabit, 89, à Berlin. N.W. (Allemagne).

BUGUET (**Abel**), Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 43, rue de la République, à Rouen.

CADENAT, Professeur au Collège de Saint-Claude.

CADIAT, Ingénieur, 5, boulevard Morland.

CADOT (**Albert**), Professeur au Lycée de Douai.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart.

CAILLETET (**L.-P.**), Membre de l'Institut, 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTE (**Louis**), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à la Flèche.

CAMICHEL (**Ch.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

CANCE, Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis.

CARPENTIER, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

CARRÉ (**F.**), Professeur au Lycée Michelet, 9, rue des Croisiers, à Caen.

CARVALLO (**E.**), Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue de Courty.

MM.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs.

CASPARI (**E.**), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac.

CASTEX (**Edmond**), Agrégé des Facultés de Médecine, Chargé de Cours à l'École de Médecine de Rennes.

CAURO (**Joseph**), Ancien Élève de l'École polytechnique, 6, rue Lunain.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAVIALE (**V.**), Professeur de Physique à l'École normale, 49, avenue de Saint-Cloud, à Versailles.

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice.

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 58, rue Monsieur-le-Prince.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 3, place Victor-Hugo.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, 13, rue Bara.

CHAIR, Professeur au Lycée, 62, faubourg Montbéliard, à Belfort.

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly.

CHANAL, Professeur au Lycée de Reims.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHARDONNET (**le comte de**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon, et 43, rue Cambon, à Paris.

CHARLE, Professeur au Collège de la Rochefoucauld (Charente).

CHARPENTIER (Dr A.), Professeur à la Faculté de Médecine, 31, rue Claudot, à Nancy.

CHARPY (**G.**), Docteur ès sciences, Ingénieur au Laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

CHASSAGNY (**Michel**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 1, rue Duban.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des Sciences, à Lyon.

CHATEAU (**C.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 16, Rond-point de la Porte-Maillot, à Neuilly-sur-Seine.

CHATELAIN (**Michel**), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 26, avenue du Maine.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jussieu.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, à la Villa Saint-Marc, par Croissanville (Calvados).

MM.

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHEVALLIER (**Henry**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Clément, à Bordeaux.

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHISTONI (**Ciro**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHRISTEN (**Th.**), à l'Observatoire de Météorologie dynamique, à Trappes (Seine-et-Oise).

CHUDEAU (**René**), Professeur au Lycée de Bayonne.

CHWOLSON (**Oreste**), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8, ligne, Maison n° 19, Log. n° 5, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CLAVEAU, Professeur au Lycée, 13, rue Amiral-Linois, à Brest.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin.

CLÉMENT (**Louis**), 18, rue Louis-le-Grand.

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille.

COLARDEAU (**Emmanuel**), Prof. au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine.

COLLIN (**Th.**), Professeur au Lycée d'Alger.

COLLANGETTES (R. Père), Professeur à l'Université Saint-Joseph, à Beyrouth (Syrie).

COLLIGNON (**Benoît**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon.

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'Instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet.

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie royale de Belgique, ancien Directeur des finances du Grand-Duché de Luxembourg, à Luxembourg.

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Universitatstrasse, 8, à Zurich (Suisse).

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY à New-York (États-Unis).

COMBES (**Charles**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 15, rue Bara.

COMBET (**Candide**), Professeur au Lycée de Tunis (Tunisie).

COMBETTE, Inspecteur général de l'Université, 63, rue Claude-Bernard.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin.

COPPET (**de**), villa Irène, rue Magnan, à Nice.

CORNU, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle.

COTTON (**A.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 75, rue Carnot, à Saint-Omer.

COSTA (**Dr**), Professeur à la Faculté de Médecine de Buenos-Ayres (République Argentine).

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté libre de Sciences, 26, rue de la Fontaine, à Angers.

MM.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (l'abbé), Professeur de filature à l'École industrielle, 29, rue du Casino, à Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CRÉMIEU (**Victor**), Licencié ès sciences Physiques, 1, rue Legoff.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université de Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur-électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève (Suisse).

CULMANN (**Paul**), Docteur ès sciences, Professeur au Tecnicum de Winterthur Weinbergstrasse, 82, à Zurich (Suisse).

CURIE (**Pierre**), Dr ès sciences, Chef des Travaux de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 13, rue des Sablons, à Sceaux.

DAGUENET, Professeur au Lycée Hoche, 4, rue Sainte-Victoire, à Versailles.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 24, rue de la Cerisaie.

DECHEVRENS (le R. Père **Marc** S. J.), Ancien Directeur de l'Observatoire de Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, Observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DÉCOMBE (**Louis**), Licencié ès sciences, 212, rue Saint-Antoine.

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi.

DEFFORGES (le Lieutenant-Colonel **G.**), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, Bureau restant de Galata à Constantinople (Turquie).

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture, à Novo-Alexandria, gouvernement Lublin (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 136, cours Lieutaud, à Marseille.

DEMERLIAC (**R.**), Professeur au Lycée, 30, rue Bretagne, à Caen.

DELPEUCH, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 26, rue Pétrelle.

DELVALEZ, Professeur au Lycée de Poitiers.

DE METZ, Professeur à l'Université Saint-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes.

DESCHAMPS (**Dr Eugène**), 22, rue de la Monnaie, à Rennes.

DESLANDES, Ancien Officier de Marine, 20, rue de la Rochefoucauld.

DESLANDRES, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

DESPRATS (**André**), Principal honoraire, route de Villeneuve, à Lons-le-Saunier.

MM.

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot.

DETAILLE (**Charles**), Professeur au Lycée, 81, rue du Gouédic, à Saint-Brieuc.

DEVAUD, Professeur au Lycée de Marseille.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest.

DEVAUX (**Henri**), Docteur ès sciences, à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Examinateur d'admission à l'École spéciale militaire, 5, rue de la Santé.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et Graveur, 3, rue Hautefeuille.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme belge pour l'éclairage et la transmission électrique à grande distance, 27, rue de la Sablonnière, à Bruxelles (Belgique).

DIGEON (**J.**), Ingénieur-Constructeur, 15, 17 et 19, rue du Terrage.

DINI (**Urbain**), Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 48, rue Gassendi.

DININ (**Alfred**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 152, quai de Jemmapes.

DIOMAR, Professeur au Lycée d'Auch.

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.

DOIGNON (**L.**), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson.

DONGIER (**Raphaël**), Répétiteur à l'Institut national Agronomique, Agrégé, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 72, boulevard de Port-Royal.

DORGEOT (**Gabriel**), Capitaine d'Artillerie, en garnison à Saint-Servan.

DOUCEUR, Directeur des Postes et Télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 76, rue des Martyrs.

DROUIN (**Félix**), Ingénieur, 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

DUBOIS (**René**), Professeur à l'École Turgot, 13, rue de Cluny.

DUBOIS (**E.-H.**), Schillbauerdaunn, 21, à Berlin (Allemagne).

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, 27, quai de la Tournelle.

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*, rue de Fleurus.

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7-9, rue d'Abbeville.

DUCOTTÉ, Ingénieur électricien, 3, rue Paganini, à Nice.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à l'Université La Casita, à Lausanne (Suisse).

MM.

DUHEM (**P.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux.

DUJARDIN (**P.-J.-R.**), Héliographe, 28, rue Vavin.

DUMOULIN-FROMENT, Ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPERRAY, Professeur au Lycée, 20, rue Contrescarpe, à Nantes.

DUPONT (**Charles**), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DUPRÉ, Inspecteur honoraire de l'Académie, 135 *bis*, avenue de Neuilly, à Neuilly (Seine).

DURAND (**Ernest**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 99, boulevard Arago.

DUSSAUD, Député, Professeur à l'École de Mécanique de la Ville de Genève, 16, rue Dancet, à Genève (Suisse).

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon.

DVORAK (Dr **V.**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

EBEL, Ingénieur en Chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EGOROFF (**Serge**), Observateur à l'Observatoire de Paulauwsk, près Saint-Pétersbourg (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 4, rue Rabelais.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 50, boulevard Saint-Michel.

FABRY (**Charles**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 2, place de la Corderie, à Marseille.

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy.

FAIVRE-DUPAIGRE (**J.**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.

FAURE (**Camille-A.**), Ingénieur, 116, boulevard Richard-Lenoir.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe de la Marine, 1, rue de Lille.

FAVARGER, Ingénieur-électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.

FERRAS, Professeur au Lycée, 2, place de l'École-de-Médecine, à Toulouse.

FIGUIER (Dr **Alban**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux.

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur-électricien, 52, rue Saint-Georges.

FONTAINE, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

FOURNIER (le Dr **Albain**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson-de-Sailly, 106, rue de la Pompe.

MM.

FOUSSEREAU, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 56, boulevard de Port-Royal.

FOVEAU DE COURMELLES (le Dr), 26, rue de Châteaudun.

FRICKER (le Dr), 10, rue Duperré.

FRIEDEL (**Ch.**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Michelet.

FROC (le R. Père), à l'Observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GAILLARD, Professeur au Lycée de Roanne.

GAIN (**Edmond**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine.

GALIMARD, Pharmacien de 1re classe, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie impériale des Sciences, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (**Henri**), Directeur de la Société d'Électrochimie, 42, rue de Clichy.

GALLOTTI, Professeur au Lycée, 20, rue Saint-Cyran, à Châteauroux (Indre).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Alençon.

GARBE, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

GARDET (**Alfred**), Censeur du Lycée de Charleville.

GARÉ (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GASCARD (**A.**), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 14, rue Alsace-Lorraine, à Rouen.

GAUMONT, Directeur du Comptoir général de Photographie, 17, rue Saint-Roch.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 1, avenue des Lilas, aux Prés-Saint-Gervais.

GAY (**Jules**), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux.

GEITLER (Dr **J. Chevalier de**), Privat-docent à l'Université de Prague (Autriche).

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi.

GENEST (**Eugène**), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers.

GEORGUIEWSKY (**Nicolas**), rue Schpalernaja, maison 30, Log. 3, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur-électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

GÉRARD (**Éric**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 43, rue Saint-Gilles, à Liège (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 76, rue du Collège, à Roubaix.

GILBAUT, Professeur au Lycée, 31, rue Pargaminières, à Toulouse.

GINSBERG (**Alexandre**), Opticien, Collaborateur scientifique de la maison Krauss et Cie, 8, rue Albouy.

GIRARD (**Charles**), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité.

GIRARDET, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, ancien Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, 90, rue Claude-Bernard.

GIRARDIN (l'abbé **Maurice**), Professeur de Physique à l'Institut Saint-François-de-Sales, à Gien (Loiret).

GIRAULT, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 67, rue Claude-Bernard.

GIROUX, Ingénieur-opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GIVERT, Professeur au Lycée, 3 *bis*, rue de Nemours, à Rennes.

GODART (**Léon**), Docteur ès sciences, 223, rue Saint-Jacques.

GODART, Professeur au Collège, 4, rue Notre-Dame-de-Bon-Secours, à Compiègne.

GODEFROY (l'abbé **L.**), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen.

GODY (**G.**), Architecte du département des Travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ (**L.**), Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 282, rue Saint-Jacques.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GORSSE, Professeur au Collège Rollin, 23, rue Truffaut.

GOSSARD (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

GOUY (**G.**), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine, à Vierzon.

GRAMONT (**Arnaud de**), Docteur ès sciences Physiques, 81, rue de Lille.

GRAU (**Félix**), Professeur au Lycée de Toulon.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur-électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co, Silwertown, Essex, à Londres (Angleterre).

GREFFE (**E.**), Professeur au Lycée de Montpellier.

GRÉHANT (Dr), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique au Collège d'Autun.

MM.

GRIPON, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes.

GRIVAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir, Lyon.

GRIVOLAS (**Claude**), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Cie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14. Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 67, avenue Malakoff.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon.

GUEBHARD (Dr **Adrien**), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, boulevard Fragonard, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉROULT (**Georges**), Trésorier-Payeur général, 5 *bis*, rue de Fougères, à Rennes.

GUERRE, Constructeur d'instruments de Physique, 36, rue de Clignancourt.

GUGGENHEIMER (**Siegfried**), S. W. Charlottenstrasse, 5/", à Berlin (Allemagne).

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 1, avenue Marigny.

GUILLOZ (Dr **Th.**), Agrégé, Chef des travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 38, place de la Carrière, à Nancy.

GUINARD (**A.**), Armurier, 8, avenue de l'Opéra.

GUINCHANT (**J.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 177, rue Saint-Jean, à Caen.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue de l'Hospice, à Nancy.

GUYE (**Philippe-A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université de Genève (Suisse).

GUYE (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, 83, route de Chêne, à Genève (Suisse).

GUYENOT, Docteur en Médecine, à Aix-les-Bains.

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HAGENBACH (**Auguste**), Privat-docent à l'Université, Breite strasse, à Bonn-sur-Rhein, près Cologne (Allemagne).

HALE (**George**), Directeur de l'Observatoire, Yerkes observatory, University of Chicago Williams Bay, Wisconsin (États-Unis).

HALLER (**A.**), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences de Nancy.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt, par Mercy-le-Bas (Meurthe-et-Moselle).

HARKER (**John Allen**), Docteur ès sciences, Membre du Owens-College, à Manchester (Angleterre).

MM.

HARTL (Colonel), Attaché à l'Institut géographique militaire de Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (**Edgard**), Professeur à l'École navale, 126, rue de Paris, à Brest.

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 38, rue de Turenne.

HÉMOT (**Alphonse**), Constructeur d'instruments de précision, 1, rue Vauquelin.

HEEN (**De**), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique de Liège (Belgique).

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physique Biologique du Collège de France, 11, avenue Matignon.

HENRY (**Édouard**), Professeur au Lycée, 47, rue de la Comédie, à Lorient.

HENRY (**Aimé**), Professeur au Lycée, 23, rue Marlot, à Reims.

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique de Roumanie, à Bucarest.

HERSCHOUN (**Alexandre**), Étudiant au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HIGISMOND (Frère), Professeur de Physique à l'École des Francs-Bourgeois, 212, rue Saint-Antoine.

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir.

HIRSCH, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 1, rue Castiglione.

HODIN, Inspecteur d'Académie, à Mende.

HOMEN (**Théodor**), Docteur ès sciences, Agrégé à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue de Chantilly.

HOSTEIN, Proviseur du Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy.

HOULLEVIGUE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

HUDELOT, Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HURMUZESCU (**Dragomir**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine.

IMBAULT (**G.**), Professeur au Lycée de Tunis (Tunisie).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

MM.

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

IZARN (**Joseph**), Professeur au Lycée Pascal, 2, rue d'Amboise, à Clermont-Ferrand.

JACOBS (**Fernand**), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevalliers, à Bruxelles (Belgique).

JAMBART, Professeur au Lycée de Coutances.

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central d'Électricité, 180, boulevard Saint-Germain.

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Assistant de Minéralogie au Muséum, 86, boulevard Saint-Germain.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARRE (**L.**), 2, rue des Pyramides.

JAUBERT (Dr **Georges**), Docteur ès sciences, 155, boulevard Malesherbes.

JAUMANN (Dr **G.**), Professeur de Chimie et de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Faculté des Sciences, 5, boulevard La Tour-Maubourg.

JAVAUX (**Émile**), Directeur de la Société des ateliers Gramme, 33, rue Clavel.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

JEUNET, Ancien Professeur, 15, avenue de la Défense de Paris, à Puteaux (Seine).

JOANNIS (l'abbé **de**), Licencié ès sciences Physiques et Mathématiques, 15, rue Monsieur.

JOBIN (**A.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon.

JOSEPH (**Paul**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Montsouris.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

JOUBIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes-Études de Moscou (Russie).

JOYEUX (**Eugène**), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres.

JUNGFLEISCH (**E.**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 74, rue du Cherche-Midi.

KAPOUSTINE (**Théodore**), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KELVIN (**Sir William-Thomson, Lord**) F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow (Écosse).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques.

MM.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'acoustique, 27, quai d'Anjou.

KORDA (**Désiré**), Ingénieur chef du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin.

KOROLKOFF (**Alexis**), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

KOWALSKI (**Joseph de**), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 77, rue de Prony.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble.

LACOUR (**Alfred**), Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.

LAFARGE (**Raymond**), 84, rue Lecourbe.

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès sciences Physiques, Ingénieur-électricien, 70, boulevard Magenta.

LAFLAMME (Mgr), Membre de la Société géologique de France, Recteur de l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAGRANGE (**L.**), Professeur de Physique à l'École Militaire, 60, rue des Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (**Ulysse**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences industrielles, 11, rue d'Aubuisson, à Toulouse.

LALANDE (**F. de**), Ingénieur civil des Mines, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 183, boulevard Saint-Germain.

LAMIRAND, Professeur au Lycée de Toulouse.

LAMOTTE, Agrégé, Préparateur au Laboratoire d'Enseignement de la Faculté des Sciences, 19 *bis*, boulevard de Port-Royal.

LANCELOT, Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine.

LANDRIN, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 76, rue d'Amsterdam.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

LAROCHE (**Félix**), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, 110, avenue Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LAROUSSE (**Auguste**), Chargé de Cours au Lycée, 28, avenue Bertrand-de-Born, à Périgueux.

LATCHINOW, Professeur de l'Institut du Corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur honoraire, 4 *bis*, rue Daillière, à Angers.

LAURENT (**Léon**), Ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.

LAURIOL (**P.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 83, boulevard Saint-Michel.

LAVERDE (Dr **Jésus Oloya**), à Bucaramanga (États-Unis de Colombie).

LAVIÉVILLE (**Augustin**), Inspecteur d'Académie, 14, rue Soufflot.

MM.

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, à Marseille.

LEBARD (**P.**), Professeur au Lycée, 75, rue Basse-de-l'Hémicycle, à Angoulême.

LEBEDEW (**Jean**), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (**J.-A.**), Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

LEBLANC (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, avenue de Bouflers, villa Montmorency, Paris-Auteuil.

LE BON (Dr **G.**), 29, rue Vignon.

LECAT, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 7, rue Gustave-Courbet.

LECHAT, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand, 4, rue de Calais.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des Constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara.

LE CHATELIER (**Charles**), 173, rue Notre-Dame-des-Champs.

LECHER (Dr **Ernst**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LE CORDIER (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 3, rue Lecoq, à Clermont-Ferrand.

LEDUC, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

LEDUC (Dr **Stéphane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes.

LEFEBVRE (**Eugène**), Professeur honoraire, 2, rue des Réservoirs, à Versailles et à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 34, rue Charles-Merlin, à Douai.

LEFÈVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 2, place Saint-Pierre, à Nantes.

LEFÈVRE, Préparateur de Physique au Lycée d'Amiens.

LEJEUNE (**L.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Thury-Harcourt (Calvados).

LELORIEUX (**V.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 13, rue Soufflot.

LEMOINE (**Émile**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**Georges**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 76, rue d'Assas.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 72, rue Claude-Bernard.

LEMSTROM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

LERAY (le Père **Ad.**), Eudiste, à La Roche du Theil en Bains, près Redon (Ille-et-Vilaine).

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

LE ROUX, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

LEROY, Médecin-Major de 1re classe au 160e régiment d'infanterie, à Toul.

LESAGE (**Auguste**), Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESOBRE, Professeur au Collège de Melun.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉTANG (Dr **Marc**), 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest à Conlie (Sarthe).

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, rue de Cazault, 120, à Alençon.

LHUILLIER, Professeur au Prytanée militaire de La Flèche, 5, rue de la Nation.

LIMB (**Claudius**), Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil de la Maison Gindre Frères et Cie de Lyon, 43, rue de Lyon, et 58, rue Coste, à Cuire (Rhône).

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

LOISELEUR, Professeur au Collège, 92, rue de Lyon, à Libourne.

LORRAIN (**James-Grieves**), Consulting Engineer Norfolk House, Norfolk street, London, W. C. (Angleterre).

LOUGUININE (**W.**), Dr honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKY (**Gennady**), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCAS (Le Père **J.-D.**), Professeur au Collège Notre-Dame-de-la-Paix à Namur (Belgique).

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUGGIN (Dr **Hans**), Durlacher strasse, 24, III St à Karlsruhe (Allemagne).

LUGOL (**Paul**), Professeur au Lycée, cité Chabrol, à Clermont-Ferrand.

LUMIÈRE (**Auguste**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon).

LUMIÈRE (**Louis**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon).

LUSSANA (**Silvio**), Docteur ès sciences Physiques, à l'Institut Physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (**Gustave**), Ancien Élève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université, Vienne, I, Singerstrasse, 7 (Autriche).

MACK, Licencié ès sciences Physiques, 212, rue Saint-Jacques.

MM.

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille.

MAIGRET (Dr), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, 1, boulevard de la Liberté, à Bourges.

MALDINEY (**J.**), Président de la Société de Photographie du Doubs, Chef des travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon.

MALLAT (R. Père **Jean**), Professeur à Saint-Joseph College, à Trichinopoly (Indes anglaises).

MALLY (Dr **Francis**), 24, rue de Saint-Pétersbourg.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger.

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, 6, rue Flatters.

MAMY (**J.**), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers.

MANEUVRIER, Directeur Adjoint du Laboratoire des Recherches (physiques) à la Sorbonne.

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (Dr), Docteur ès sciences, 15, place de la Madeleine.

MARCHIS, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

MARSAL (**A.**), Professeur au Lycée, 28, rue du Parc, à Agen.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTIN (**Georges**), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc.

MARTINET, Prof. au Lycée Janson-de-Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, 5, Grande-Rue, à La Flèche.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MASSE (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des Mines, place du Vœu, à Nice.

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, au Dépôt de l'Administration des Postes et Télégraphes, boulevard Brune.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MASSON (**Louis**), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MATHIAS (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, rue Sainte-Anne, à Toulouse.

MATHIEU (**Louis**), Professeur au Lycée, 64 *bis*, rue de la Polle, à Cherbourg.

MATHIEU, Professeur au Lycée d'Évreux.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient.

MAURAIN (**Charles**), Professeur au Lycée, 2, rue de l'Assemblée-Nationale, à Lorient.

MELANDER, Préparateur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

MÉNIER (**Henri**), 8, rue de Vigny.

MM.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

MERGIER (Dr), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 27, avenue d'Antin.

MERITENS (**de**), Ingénieur, 74, boulevard de Clichy.

MERLE (**Antoine**), Propriétaire de la maison Brunot-Court, boulevard Victor-Hugo, à Grasse.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne.

MESLANS (**Maurice**), Agrégé de l'École supérieure de Pharmacie, à Nancy.

MESLIN, Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier.

MESTRE, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

MÉTRAL (**Pierre**), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette.

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges.

MEYLAN, Ingénieur de la Maison Gaiffe, 40, rue Saint-André-des-Arts.

MICHEL (**Auguste**), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICULESCU (**Constantin**), Professeur à l'Université de Bucarest, 11, strada Baterülor (Roumanie).

MILLARD (**John-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat, et 11, rue de la Monnaie, à Rennes.

MISLAWSKY (Dr), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOËSSARD, Colonel du Génie, 58, rue de Vaugirard.

MOINE, Préparateur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand.

MOLTENI (**A.**), Ingénieur-constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONNIER (**D.**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 1, rue Appert.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée Hoche, 19, rue Maurepas, à Versailles.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTEFIORE (**Levi**), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (**Silvain**), Juge de paix à Grand-Bourg (Creuse).

MONTHIERS (**Maurice**), 50, rue Ampère.

MOREAU (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, 13, rue Tronjolly, à Rennes.

MORIN (**Pierre**), Professeur au Lycée, 25, rue Barathon, à Montluçon.

MORIZOT, Chargé de Cours au Lycée de Chaumont.

MORS, Ingénieur, constructeur d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

MOSER (Dr **James**), Privat-docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/1 (Autriche).

MM.

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, rue Dantzig (5, passage Dantzig).

MOULIN (**Honoré**), Capitaine au 26e d'Artillerie, au Mans.

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste, Chef du Service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSELIUS (**Maximilien**), Employé à l'Administration centrale des Télégraphes, rue Torgowaïa n° 13, Log. 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MUIRHEAD (**Alexandre**), F. C. S., 5, Cowley Street Westminster, S. W. Londres.

MUKHOPADHYAY (**Asutosh**), Membre de la Société de Physique de Londres, 77, Russa Road north, Bhowanipore, à Calcutta (Indes).

MULLER (**Paul**), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences de Nancy.

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers.

NAMBA MASSASHI, à Sendaï (Japon).

NEGREANU (**D.**), Professeur à l'Université, 21, Strada Popa-Rusu, à Bucarest (Roumanie).

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, 101, rue de la Boëtie.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NODON (**Albert**), Ingénieur-conseil, 6 *bis*, rue des Écoles.

NOÉ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles (Belgique).

NOUGARET (**Élie**), Proviseur du Lycée de Cherbourg.

OFFRET (**Albert**), Professeur de Minéralogie à l'Université, 135, avenue de Saxe, à Lyon.

OGIER (**Jules**), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 34, rue de Provence.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

OZENNE, Aide au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

MM.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences, 28, rue Masséna, à Lille.

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès sciences, Professeur d'Électricité industrielle, à l'Université de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier.

PALMADE (**F.**), Capitaine du Génie, Adjoint au Commandant de l'École du Génie, à Versailles.

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès sciences Mathématiques et Physiques, Directeur de l'École Descartes, 46, rue de la Tour.

PARAYRE (l'abbé **D.**), Directeur de l'École Saint-Sauveur, à Saint-Germain-en-Laye.

PARENTHOU (**Émile**), Ingénieur, 47, rue Denfert-Rochereau.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PAVILLARD, Professeur au Lycée de Montpellier.

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Égypte).

PAYRARD (**Henri**), Professeur au Collège, rue de la République, Argentan (Orne).

PÉLABON (**H.**), Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille.

PELLAT (**H.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine, 9, quai Richebourg, à Nantes.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PELISSIER (**Georges**), 4, rue Dailly, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

PERNET (Dr **J.**), Professeur à l'École Polytechnique, 84, Hofstrasse, à Zurich (Suisse).

PERNIN (**René**), Directeur de la Station centrale d'Électricité, 12, rue du Beffroy, à Troyes.

PEROT (**Alfred**), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 22, chemin des Chartreux, à Marseille.

PERREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

PERRIN (**Jean**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 37, rue Rousselet.

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

PETIT (**A.**), Pharmacien de 1re classe, Licencié ès sciences physiques, 8, rue Favart.

PETIT (**Paul**), Professeur au Lycée de Foix.

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée de Nantes.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut technologique, Directeur du Département des chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT, Ingénieur-Opticien, 31, quai des Grands-Augustins.

MM.

PEYRUSSON (**Édouard**), Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, 17, chemin du Petit-Tour, à Limoges.

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université de Gratz (Autriche).

PHASMANN (**Augustin**), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, Ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes.

PHILIPPE (**A.**), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, villa Denise, 36, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

PICOU (**R.-V.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand.

PILLEUX, Électricien, 79, rue Claude-Bernard.

PILLON (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

PISCA (**Michel**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 152, rue Marcadet.

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.

POINCARÉ (**Lucien**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 17, rue d'Assas.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens.

POIRÉ, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, Professeur au Lycée Condorcet, 84, boulevard des Batignolles.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

POMEY (**J.-B.**), Inspecteur-Ingénieur des Télégraphes, 33, rue de Coulmiers.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram.

PONSOT, Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 28, rue Vauquelin.

POPOFF (**Alexandre**), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (**Victor**), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 46, rue de Douai.

POPPER (**Josef**), Ancien Élève de l'École Polytechnique de Vienne, Ingénieur-Constructeur de machines, VII, Westbahnstrass, 29, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur, Chef du Contrôle à la Société normande d'Électricité, 7, rue Henri-Barbet, à Rouen.

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), au Musée Polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PRETORIANO (**Marin**), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

PUPIN (D^r^), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 38, avenue Friedland.

MM.

QUEFFELLEC (**Auguste**), Licencié ès sciences, Professeur au Collège Notre-Dame-des-Dunes, à Dunkerque.

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé, à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis.

RADIGUET, Opticien-Constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur civil, 5, avenue d'Orléans.

RALLET, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin.

RAVEAU (**C.**), Répétiteur à l'Institut national agronomique, 5, rue des Écoles.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat.

RECHNIEWSKI, Ingénieur-Électricien, 5 *bis*, rue d'Odessa.

RECOURA (**Albert**), Doyen de la Faculté des Sciences de Lyon, 12, rue Pelletier-de-Chambure, à Dijon.

RÉGNARD (Dr **P.**), Membre de l'Académie de Médecine, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 224, boulevard Saint-Germain.

RENARD (**Charles**), Lieutenant-Colonel du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon.

RENAULT (**Albert**), Licencié ès sciences Physiques, 30, rue du Faubourg-Saint-Jacques.

REVOY, Professeur au Lycée de Pontivy.

REY PAILHADE (**J. de**), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse.

RIBAN (**Joseph**), Directeur-adjoint du Laboratoire d'Enseignement chimique et des Hautes-Études, Professeur à l'École des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 13, rue de Siam.

RICARD (Dr **E.**), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen.

RICHARD (**Jules**), Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Ch.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOLLOT, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences de Lyon.

RILLIET, Professeur à l'Université, 25, rue Bellot, à Genève (Suisse).

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse.

ROBERT (**A.-C.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 14, rue de Hambourg.

ROCHEFORT (**Octave**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 51, rue Labruyère.

MM.

RODDE (**Ferd.**), 61, rue Rochechouart.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER (**J.**), Chef d'Institution honoraire, 7, rue Faustin-Hélie.

ROGOWSKY (**Eugène**), Professeur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROLLAND (**Étienne**), Professeur au Lycée, 4, rue de Perpignan, à Pau.

ROMILLY (**Félix de**), 25, avenue Montaigne.

ROMILLY (**Paul de**), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'Usine Poirier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROTHSCHILD (baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

ROUMAILLAC (D^r^), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Bordeaux.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Roanne.

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur électricien, 51, rue de Dunkerque.

ROWLAND, Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont.

SACERDOTE (**Paul**), Ancien Élève de l'École normale supérieure, Professeur agrégé au Collège Sainte-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel.

SADOWSKY (**Alexandre**), Professeur à l'Université impériale de Physique, à Juriew (Russie).

SAID (**Dj.**), Ingénieur, 106, boulevard Arago.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 95, rue de Courcelles.

SALADIN (**Édouard**), Ingénieur civil des Mines, à la Cie de Junction City, 12, rue Roquépine.

SALLES (**Adolphe**), 1, rue Rabelais.

SALMON, Professeur au Lycée, 15, rue du Mûrier-d'Espagne, à Nîmes.

SANDOMENICO (**Gaëtano**), Professeur, Via Arreniacca, Palazzo Sbarra, à Naples (Italie).

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud.

SARASIN (**E.**), Docteur ès sciences, Grand Saconnex à Genève (Suisse).

SARRAN, Professeur au Lycée de Bordeaux.

MM.

SARRAU, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, Professeur de Mécanique à l'École polytechnique, 9 *bis*, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHILLER (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHURR (**Joseph**), Professeur au Lycée, à Lancelotte-Désertines, près Montluçon.

SCHWEDOFF, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Bréguet, 15, rue Bizet.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT (Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier.

SECRÉTAN (**G.**), Ingénieur-Opticien, 13, place du Pont-Neuf.

SÉGUIN, Ancien Recteur, 1, rue Ballu.

SEIGNETTE (**Adrien**), Professeur au Lycée Condorcet, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 6, rue Daubigny.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Roanne, à Grenoble.

SERPOLLET, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac.

SIEGLER, Ingénieur en Chef de la voie à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 96, rue de Maubeuge.

SIGALAS (Dr **C.**), Agrégé, Chef des Travaux, chargé d'un cours complémentaire de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 4, rue Théodore-Ducos, à Bordeaux.

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes.

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès sciences, IV Alleegasse, 31, à Vienne (Autriche).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 22, rue du Palais, à Bruxelles (Belgique).

SORET, Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre.

SORET, Professeur à l'Université de Genève (Suisse).

SORBIER (**J.**), Professeur de Physique à Saint-Girons (Ariège).

SOUCARET, Directeur gérant du Journal *l'Écho scientifique*, 5, rue des Grands-Augustins.

STACKELBERG (baron **Édouard de**), Breit strasse, 30, à Dorpat (Russie).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STCHEGLAIEF (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STIASSNIE (**Maurice**), Opticien, 204, boulevard Raspail.

MM.

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STRAVOLCA, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

STRAUSS, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, boulevard Haussmann.

SWYNGEDAUW (**R.**), Maître de Conférences à l'Institut de Physique, 48, rue Gauthier-de-Châtillon, à Lille.

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TAILLEFER (**André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte.

TANGL, Docteur de l'Université de Budapest (Roumanie).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société météorologique de France, Directeur de l'observatoire de Trappes, 82, avenue Marceau.

TEPLOFF (**N.**), Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval.

THÉNARD (le baron **Arnould**), chimiste agronome, 6, place Saint-Sulpice.

THIERRY (**Maurice de**), Docteur en Médecine, 119, rue d'Alésia.

THIESEN (Dr **Max**), Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 144, boulevard du Montparnasse.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres, N. W. (Angleterre).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSANDIER (**Gaston**), 50, rue de Châteaudun.

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel.

TISSOT, Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École navale, 2, rue d'Aiguillon, à Brest.

TOMBECK, Licencié ès siences, 8, square du Croisic.

TONARELLI, Proviseur du Lycée du Puy.

TORCHEBEUF (**Ch.**), Constructeur d'instruments de Physique, 15, rue de l'Estrapade.

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon.

TRIPIER (D^r), 41, rue Cambon.

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte.

TROUPOT (l'abbé **J.-E.**), Professeur à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

MM.

TRUCHOT (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine de Clermont-Ferrand.

TSCHERNING (Dr), Sous-Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières.

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue Hauteville.

TURPAIN, Préparateur à la Faculté des Sciences, Cours Victor-Hugo, à Bordeaux.

UCHARD (**A.**), Chef d'escadron d'Artillerie, 46, boulevard de l'Arsenal, à Bourges.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ (**Benoni**), Négociant, 14, rue Lemerchier, Amiens.

VAGNIEZ (**Édouard**), 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VAN AUBEL (Dr **Edmond**), Professeur à l'Université de Gand, 12, rue de Comines, à Bruxelles (Belgique).

VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIET, Professeur de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

VANDEVYVER-GRAU, Docteur ès sciences et Répétiteur à l'Université, 14, rue Saint-Amand, à Gand (Belgique).

VARACHE (**A.**), Professeur au Collège, 28, rue de la Rotonde, à Béziers.

VARENNE (**de**), Préparateur au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 7, rue de Médicis.

VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École polytechnique, 68, avenue Bosquet.

VAUGEOIS (**Jean-Georges**), Ingénieur-Électricien à l'usine G.-B. Blot, Fabricant d'accumulateurs, 7, boulevard Solférino, à Billancourt (Seine).

VASSEUR (**Alfred**), 87, boulevard d'Alsace-Lorraine, à Amiens.

VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VAYSSIÈRES (**Louis**), Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 47, rue Terruse, à Marseille.

VEILLON (**Henri**), Docteur en Philosophie, Privat docent à l'Université de Bâle (Suisse).

VELTER (**Jules**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.

VERNIER (**Victor**), Professeur au Lycée, 38, rue Nationale, à Tulle.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.

VIGNON (**Léo**), Professeur à l'Université de Lyon.

VIGOUROUX (Dr **Romain**), Chef du service autonome d'Électrothérapie (Salpêtrière), 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

VILLARD (**P.**), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm.

VILLIERS (**Antoine**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

MM.

VINCENS, Licencié ès sciences Mathématiques et Physiques, 158, boulevard Malesherbes.

VINCENT, Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup-de-la-Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des Télégraphes, 74, boulevard du Montparnasse.

WAHA (**de**), Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALCKENAER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain.

WALLON (**E.**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony.

WEILLER (**Lazare**), Ingénieur manufacturier, 40, rue de Monceau.

WEISS (**Dr Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin.

WEISS (**Pierre**), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm.

WEST (**Émile**), Chef du Laboratoire des Chemins de fer de l'Ouest, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue des Feuillantines.

WOLFF (Dr), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours.

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès sciences, 98, rue d'Assas.

WUNSCHENDORFF, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF (**G.**), Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède.

XAMBEU, Principal honoraire, 12, rue du Hâ, à Saintes.

MM.

YVON (**P.**), Pharmacien, 26, avenue de l'Observatoire.

ZAHM (le R. P. **J.-A.**), Professeur de Physique, à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 63, S. Martin, à Santiago (Chili).

ZETTER (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier.

ZILOFF, Professeur de Physique, à l'Université de Varsovie (Russie).

ZUPP, Professeur en retraite, 21, rue Saint-Gilles, à Brest.

Juin 1898.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

E. Bouty. — Allocution prononcée dans la séance du 15 janvier 1897. 5
G. Sagnac. — Illusions qui accompagnent la formation des pénombres. — Application aux rayons X..... 9
G. Sagnac. — Illusions de la vue qui accompagnent les défauts d'accommodation..... 14
L. Benoist. — Loi de transparence des corps pour les rayons X... 21
A. Ponsot. — Mesures cryoscopiques..... 26
Jean Perrin. — Décharge par les rayons Röntgen. — Effet métal.. 37
H. Abraham. — Sur le rhéographe à induction Abraham-Carpentier. 45
C. Meslin. — Sur un phénomène relatif à la vision..... 55
Perot et Fabry. — Electromètre absolu interférentiel pour la mesure de petites différences de potentiel..... 57
Marage. — Etude des cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig..... 74
G. Weiss. — Analyse d'une courbe périodique par le procédé de Ludimar-Hermann..... 84
G. Charpy. — Sur la constitution des alliages eutectiques..... 87
René Benoit. — Application des phénomènes d'interférence à des déterminations métrologiques..... 95
A. Guébhard. — Sur les phénomènes de ségrégation moléculaire observables dans les liquides troubles abandonnés au repos.... 107
L. Décombe. — Sur la résonance multiple..... 116
Ch.-Ed. Guillaume. — Recherches sur les aciers au nickel..... 121
Edm. van Aubel. — Sur la résistance électrique du réostène..... 133
C. Raveau. — Nouvelles observations de M. Röntgen sur les propriétés des rayons X..... 135
A. Cornu. — Sur l'observation et l'interprétation cinématique des phénomènes découverts par M. le Dr Zeeman..... 138
André Broca. — Sur le mécanisme de la polarisation rotatoire magnétique..... 144
E. Ducretet et L. Lejeune. — Interrupteur à mercure pour les fortes bobines de Ruhmkorff..... 147
Victor Chabaud. — Sur deux nouveaux modèles de trompes à mercure..... 149

Pages.

A. Leduc. — Densités, volumes moléculaires, compressibilité et dilatation des gaz aux diverses températures et aux pressions moyennes 152
Marage. — Contribution à l'étude des voyelles par la photographie des flammes manométriques 187

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1897 ..... 1*

Sagnac. — Illusions qui accompagnent la formation des pénombres. Applications aux rayons X et à la vision 3*
Ch.-Ed. Guillaume. — Nouvelles déterminations des mètres-étalons du Bureau International des Poids et Mesures, par MM. *René Benoît* et *Ch.-Ed. Guillaume* 4*
Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1895-1896 ..... 5*

SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1897 ..... 8*

Jobin. — Appareil de M. le capitaine Devé pour la vérification du dressage des canons de fusils 9*
Ch.-Ed. Guillaume. — Observation faite à l'aide de l'explorateur optique de M. le capitaine Devé 10*
H. Le Chatelier. — Appareil industriel pour la mesure des dilatations 10*
H. Pellat. — Remarques sur la formule de Van der Waals relative aux chaleurs latentes de vaporisation 10*
Darzens. — Remarques au sujet de la communication de M. *Pellat*. 10*

SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1897 ..... 12*

Ch.-Ed. Guillaume. — Remarques sur l'abaissement de l'éclat du charbon positif de l'arc sous pression 12*
H. Le Chatelier. — Remarques au sujet de la communication de M. *Ch.-Ed. Guillaume* 12*
L. Benoist. — Sur la loi de transparence des corps pour les rayons X 13*
Ponsot et Tangl. — Mesures cryoscopiques 14*
Radiguet. — Actions lumineuses des rayons X 15*

SÉANCE DU 5 MARS 1897 ..... 16*

G. Darzens. — Les chaleurs de vaporisation et la loi de Van der Waals 16*
Amagat. — Sur les relations qui existent entre divers coefficients. 18*
J. Fournier. — Récipient de sûreté destiné aux gaz liquéfiés en général et à l'éclairage par l'acétylène liquide 19*
L. Cailletet. — Sur le phonographe à haute voix de M. Lioret 20*

Pages.

SÉANCE DU 19 MARS 1897 ..... 21*

Décisions prises par le Conseil dans sa réunion du 17 mars 21*
JEAN PERRIN. — Décharges par les rayons Röntgen. — Effet métal.. 22*
L. BENOIST. — Remarques au sujet de la communication de M. *Jean Perrin* 23*
DÉSIRÉ KORDA. — Dissymétrie produite par les rayons Röntgen dans le champ électrostatique des tubes à vide 24*
CORNU. — Dispositif de M. Bose destiné à reproduire diverses expériences avec les ondes électrostatiques de Hertz 24*

SÉANCE DU 2 AVRIL 1897 ..... 26*

H. ABRAHAM. — Rhéographe à induction Abraham-Carpentier..... 26*
N. GRÉHANT. — Mesure de l'effort maximum que peut produire un muscle isolé à l'aide d'un myodynamomètre à sonnerie 27*
P. VILLARD. — Quelques résultats relatifs aux rayons cathodiques.. 27

SÉANCE ANNUELLE : Réunions des vendredi 23 et samedi 24 avril 1897. 28*

SÉANCE DU 7 MAI 1897 ..... 36*

BLONDEL. — Remarque sur l'oscillographe de M. *Abraham-Carpentier*. 36*
H. BECQUEREL. — Compte rendu sommaire de l'Exposition annuelle. 37*
H. BECQUEREL. — Sur la décharge des corps électrisés sous l'influence des radiations émises par l'uranium 38*
CH.-ED. GUILLAUME. — Recherches de MM. *Rubens* et *Nichols* sur les radiations de grande longueur d'onde 40*
CH.-ED. GUILLAUME. — Comparaison de quelques propriétés des corps au-dessous et au-dessus de la bande spectrale encore inconnue 40*

SÉANCE DU 21 MAI 1897 ..... 41*

H. ABRAHAM. — Réponse aux observations de M. *Blondel* sur l'oscillographe 41*
RENÉ BENOIT. — Sur quelques applications récentes des phénonènes d'interférences à des déterminations métrologiques 42*
A. GINSBERG. — Sur quelques perfectionnements apportés dans les lunettes terrestres par MM. *Krauss et Cie* 44*
FOVEAU DE COURMELLES. — Production simultanée des rayons X et de lumière stratifiée dans un nouvel appareil cathodique 44*
P. VILLARD. — Remarques au sujet de la communication de M. *Foveau de Courmelles* 45*

SÉANCE DU 4 JUIN 1897 ..... 46*

PÉROT et FABRY. — Électromètre absolu interférentiel pour petits potentiels, et voltmètre électrostatique interférentiel 46*
P. VILLARD. — Tubes de Crookes régénérables à volonté, et réglables même en marche 48*

Pages.

SÉANCE DU 18 JUIN 1897 ..... 49*

A. Guébhard. — Sur les phénomènes de ségrégation moléculaire observables dans les liquides troubles abandonnés au repos.... 49*
Marage. — Étude sur les cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig 49*
G. Weiss. — Analyse d'une courbe périodique par le procédé de Ludimar-Hermann 50*
Charpy. — Sur la constitution des alliages eutectiques 51*
Stéphane Leduc. — Sur l'emploi de la machine statique pour l'obtention de radiographies 52*

SÉANCE DU 2 JUILLET 1897 ..... 52*

Décombe. — Sur la résonance multiple 52*
Ch.-Ed. Guillaume. — Étude sur les aciers au nickel 54*
Ed. van Aubel. — Sur la résistance électrique du réostène 55*
Camichel. — Sur un ampèremètre thermique à mercure 55*

SÉANCE DU 16 JUILLET 1897 ..... 57*

A. Guébhard. — Tachetage accidentel des clichés photographiques abandonnés dans un bain développateur de faible épaisseur.... 57*
A. Ponsot. — Mesure directe de la pression osmotique des solutions étendues de sucre de canne 57*
Raveau. — Nouvelles observations de M. *Röntgen* sur les propriétés des rayons X 58*
Korda. — Remarques au sujet de la communication de M. *Raveau*. 58*
Sagnac. — Remarque sur les expériences de M. Röntgen 59*
Joubin. — Sur un polariseur en spath de faible épaisseur 59*
F. Beaulard. — Observations sur les rayons cathodiques 60*

SÉANCE DU 5 NOVEMBRE 1897 ..... 60*

Cornu. — Sur l'observation et l'interprétation cinématique des phénomènes découverts par le Dr Zeeman 60*
A. Broca. — Sur le mécanisme de la polarisation rotatoire magnétique 62*
E. Ducretet. — Bobine d'induction de Ruhmkorff et interrupteur à mercure pour expériences de longue durée. — Entoscope..... 62*

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1897 ..... 63*

A. Leduc. — Densités, volumes moléculaires, compressibilité et dilatation des gaz aux diverses températures et aux pressions moyennes 63*
Amagat. — Remarques au sujet de la communication de M. *A. Leduc*. 65*
E. Ducretet. — Appareil pour répéter les expériences de Hertz sur les ondulations électriques ; réflexion, réfraction, polarisation, et démontrer leur action à distance (télégraphie sans fils) sur les tubes à limaille *radioconducteurs* de M. Branly 65*

Pages.

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1897 ..... 67*

R. DONGIER. — Pouvoir rotatoire du quartz dans l'infra-rouge..... 67*
CARVALLO. — Remarques au sujet de la communication de M. *R. Dongier*..... 68*
CARVALLO. — Sur la dispersion rotatoire magnétique..... 69*
CHABAUD. — Sur les trompes à mercure 71*
P. VILLARD. — Nouveau mode de chute pour les trompes à mercure. 71*

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1897..... 72*

G. SAGNAC. — Sur la transformation des rayons X par les métaux. 72*
J. PERRIN. — Remarques au sujet de la communication de M. *G. Sagnac*..... 73*
MARAGE. — Étude des voyelles par la photographie des flammes manométriques..... 73*
Décisions prises par le Conseil dans la séance du 20 décembre 1897. 75*
LISTE DES OUVRAGES REÇUS PENDANT L'ANNÉE 1897..... 77*
LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ..... 91*
TABLE DES MATIÈRES..... 135*

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.